

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ines Horvat

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Ines Horvat

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru prof.dr.sc. Damiru Doviću na strpljenju i pruženoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Ines Horvat



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Ines Horvat

Mat. br.: 0035199437

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Proračun solarnog toplovodnog sustava niskoenergetske kuće

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Calculation of solar hot water system in low-energy dwelling

Opis zadatka:

Za odabranu niskoenergetsku obiteljsku kuću potrebno je dati rješenje solarnog toplovodnog sustava za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode (PTV), pod pretpostavkom da je kuća smještena u klimatskom području Zagreba i Splita.

Temeljem provedenih proračuna potrebno je odabrati tip i površinu solarnih kolektora, te zapreminu spremnika.

Solarni toplovodni sustav je potrebno tako dimenzionirati da njime prikupljena toplinska energija pokriva najmanje 30% ukupnih godišnjih energetske potrebe kuće za grijanje prostora i pripremu PTV-a, te da period povrata investicije u predmetni sustav bude najmanji.

Proračune potreba za toplinskom energijom u solarnom toplovodnom sustavu provesti prema normi HRN EN 15316-4-3:2017 i to mjesečnom i satnom metodom.

Rezultate proračuna usporediti s onima dobivenim računalnim programom MGIPU Energetski certifikator.

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

1. rok: 23. veljače 2018.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.

3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.

3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Dović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
1.1. Uvod u solarne toplovodne sustave i njihov proračun	1
2. SOLARNI TOPLOVODNI SUSTAVI	3
2.1. Sustavi s prirodnom cirkulacijom - termosifonski	3
2.2. Sustavi s prisilnom cirkulacijom	4
3. DIJELOVI SOLARNIH TOPLOVODNIH SUSTAVA	8
3.1. Kolektori solarnog zračenja	8
3.1.1. Pločasti kolektori	8
3.1.2. Vakuumski kolektori	10
3.2. Akumulacijski spremnik	11
4. KORIŠTENE METODE PRORAČUNA SUSTAVA	12
4.1. Norma HRN EN 15316-4-3:2017 - mjesečna metoda	12
4.2. Norma HRN EN 15316-4-3:2017 - satna metoda	17
4.3. MGIPU Energetski Certifikator	21
5. DIMENZIJE SUSTAVA, ULAZNI PODACI I REZULTATI	27
6. REZULTATI I ANALIZA	31
6.1. Isporučena toplinska energija solarnim sustavom	35
6.2. Temperatura vode u spremniku	39
6.3. Energija koju mora dodatni grijač isporučiti u sustav (Q_{bu})	40
6.4. Proračun isporučene i primarne energije	41
7. Period povrata investicije	43
8. ZAKLJUČAK	49
LITERATURA	51
PRILOZI	52

POPIS SLIKA

Slika 1 S Termosifnoski sustav pripreme PTV-a [11].....	3
Slika 2 Solarni sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV-a [2]	4
Slika 3 Sustav s protočnim izmjenjivačem PTV-a [2]	5
Slika 4 Toplovodni sustav s dva spremnika [7]	6
Slika 5 Osnovni dijelovi pločastog kolektora[9].....	9
Slika 6 Vakuumski kolektor [8]	10
Slika 7 Princip rada Bosch solarnog kombiniranog spremnika za PTV i podrška grijanju [11]	11
Slika 8 MGIPU Energetski certifikator - korisničko sučelje	21
Slika 9 MGIPU Energetski Certifikator - Unošenje osnovnih podataka projektra	22
Slika 10 MGIPU Energetski Certifikator - odabir prikaza potrebne energije	23
Slika 11 MGIPU Energetski Certifikator - definiranje građevnih dijelova	23
Slika 12 MGIPU Energetski Certifikator - definiranje solarnog sustava	24
Slika 13 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 1.dio, Zagreb	25
Slika 14 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 2.dio, Zagreb	25
Slika 15 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 3.dio, Zagreb	26
Slika 16 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 4 .dio, Zagreb ...	26
Slika 17 Razmatrana kuća s toplovodnim solarnim sustavom.....	27

POPIS TABLICA

Tablica 1 Veličine kolektora i spremnika	28
Tablica 2 Osnovni ulazni mjesečni podaci za Zagreb	29
Tablica 3 Usporedba iznosa isporučene energije za PTV i grijanje kod mjesečne metode i iznosa dobivenih programom MGIPU, Zagreb	33
Tablica 4 Usporedba iznosa isporučene energije za PTV i grijanje kod mjesečne metode i iznosa dobivenih programom MGIPU, Split	34
Tablica 5 Usporedba ukupno isporučene energije svih metoda proračuna, Zagreb.....	35
Tablica 6 Usporedba ukupno isporučene energije svih metoda proračuna	35
Tablica 7 Isporučena energija solarnog sustava, Zagreb	36
Tablica 8 Isporučena energija solarnog sustava, Split.....	37
Tablica 9 Vrijednosti faktora primarne energije	41
Tablica 10 Isporučena i primarna energija [kWh]	41
Tablica 11 Ulazni podaci za jednostavni proračun perioda povrata investicije	43
Tablica 12 Iznosi perioda povrata investicije za različite veličine spremnika i kolektora, Zagreb	45
Tablica 13 Iznosi dobivene energije za različite veličine spremnika i kolektora, Zagreb.....	45
Tablica 14 Iznosi perioda povrata investicije za različite veličine spremnika i kolektora, Split	46
Tablica 15 Iznosi dobivene energije za različite veličine spremnika i kolektora, Split	46

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a_1	W/m ² K	Koeficijent toplinskih gubitaka kolektora
a_2	W/m ² K	Temperaturno ovisan koeficijent toplinskih gubitaka kolektora
a, b, c, d, f	-	Korelacijski faktori
$A_{sol;mod}$	m ²	Bruto površina kolektora
$A_{x;sol;m}$	m ²	Površina jednog modula
c_w	kJ/kgK	Toplinski koeficijent vode
f_{app}	-	Korekcijski faktor
$f_{x;aux}$	-	Udio dijela spremnika koji se zagrijava dodatnim grijačem (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
f_{bu}	-	Faktor učinka korištenog sustava regulacije pomoćnog grijača
$f_{bu;ins}$	-	Faktor učinka korištenja izolacije na cijevima pomoćne petlje
f_{col}	-	Faktor utjecaja orijentacije kolektora
f_{rbl}	-	Faktor koji uzima u obzir iskoristivi dio gubitaka topline
f_{sol}	-	Solarni udio isporučene energije
$f_{x;sto;m}$	-	Faktor zapremnine spremnika (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
$f_{tmp;m}$	-	Prva procjena solarnog doprinosa (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
$f_{x;use;m}$	-	Faktor korištenja solarnog sustava (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
H_{loop}	W/K	Koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga
$H_{loop;p}$	W/K	Koeficijent toplinskih gubitaka svih cijevi kolektorskog kruga
$H_{sol;loop}$	W/K	Koeficijent toplinskih gubitaka solarnog kruga dobavnog cjevovoda?
$H_{sto;ls;tot}$	W/K	Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika
$H_{sto;hx}$	W/K	Toplinski koeficijent izmjenjivača topline
$H_{x;sto;ls}$	W/K	Koeficijent toplinskih gubitaka spremnika (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
I_{sol}	W/m ²	Korigirano prosječno Sunčevo zračenje na kolektor
$I_{sol;S45;m}$	W/m ²	Prosječno mjesečno Sunčevo zračenje na kolektor
$K_{hem}(50^\circ)$	-	Faktor polukružne promjene kuta upadnog zračenja
\dot{m}_{col}	kg/s m ²	Maseni protok kroz kolektor po m ²
\dot{m}_{sol}	kg/s	Maseni protok kroz kolektor
N_{col}	-	Broj instaliranih kolektorskih modula
$N_{sol;mod}$		

$P_{sol;ctr}$	W	Snaga regulacije pumpe kolektora
$P_{sol;pmp}$	W	Snaga pumpe kolektora
$P_{x;sol;pmp}$	W	Dio snage pumpe kolektora (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
$Q_{bu;d}$	kWh	Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim grijačem u jednom danu
$Q_{x;bu;dis;ls;m}$	kWh	Toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog generatora topline (grijanje/PTV)
$Q_{x;bu;ls;m}$	kWh	Smanjenje iznosa isporučene energije dodatnom generatoru topline (grijanje/PTV)
$Q_{x;bu;ls;nom;m}$	kWh	Nominalni toplinski gubici dodatnog grijača (grijanje/PTV)
$Q_{x;bu;out;m}$	kWh	Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim grijačem (grijanje/PTV)
$Q_{x;bu;sto;ls;m}$	kWh	Toplinski gubici dijela spremnika grijanog dodatnim grijačem (grijanje/PTV)
$Q_{x;sol;bu;out;m}$	kWh	Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim grijačem (grijanje/PTV)
$Q_{x;sol;ls;rbl;m}$	kWh	Iskoristivi toplinski gubici solarnog sustava (grijanje/PTV)
$Q_{x;sol;out;m}$	kWh	Isporučena Sunčeva energija u sustav grijanja/PTV-a
$Q_{x;sol;sto;ls;m}$	kWh	Toplinski gubici dijela spremnika zagrijavanog solarnim sustavom (grijanje/PTV)
$Q_{x;sol;tmp;m}$	kWh	Prva procjena solarnog doprinosa (grijanje/PTV)
$Q_{x;sol;us;h}$	kWh	Mjesečno toplinsko opterećenje sunčanog sustava u dijelu koji se odnosi potrebnu energiju za PTV/grijanje prostora
$Q_{sol;col;out;h}$	kWh	Toplina na izlazu iz kolektora
$Q_{sol;gen}$	kWh	Ulazna toplinska energija na absorberu kolektora
$Q_{sol;loop;ls;h}$	kWh	Toplinski gubici kolektorskog kruga
$Q_{sol;loop;ls;rbl;h}$	kWh	Iskoristivi toplinski gubici
$Q_{sol;loop;out;h}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz kolektorskog kruga
$Q_{sol;loop;rbl;h}$	kWh	Iskoristivi toplinski gubici kolektorskog kruga
$Q_{sol;out;h}$	kWh	Isporučena toplinska energija solarnog sustava
$Q_{sol;sto;ls;h}$	kWh	Toplinski gubici dijela spremnika kojeg zagrijava solarni sustav
$Q_{sto;h}$	kWh	Energija akumulirana u spremniku u jednom satu
$Q_{stols;h}$	kWh	Toplinski gubici spremnika
$Q_{H;h}$	kWh	Potrebna energija za grijanje prostora u jednom satu
$Q_{W;h}$	kWh	Potrebna energija za PTV u jednom satu
$Q_{sto;h}$	kWh	Toplina akumulirana u spremniku u jednom satu
t_{aux}	h	Godišnji broj sati rada kolektorske pumpe
$t_{aux;m}$	h	Broj sati rada kolektorske pumpe u mjesecu
$t_{ci;m}$	h	Broj sati u mjesecu
T_h^*	Km ² /h	Reducirana temperaturna razlika kolektora

$V_{sto;bu}$	1	Volumen spremnika zagrijavan dodatnim grijačem
$V_{sto;tot}$	1	Nazivni volumen Sunčanog spremnika
$V_{x;sto;bu}$	1	Volumen spremnika zagrijavan dodatnim grijačem (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
$V_{x;sto;tot}$	1	Nazivni volumen Sunčanog spremnika (prema udjelu potrebe grijanje/PTV)
$W_{x;bu;aux;m}$	kWh	Smanjeni iznos mjesečne potrošnje energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora topline
$W_{x;bu;aux;nom;m}$	kWh	Pomoćna energija za pogon pumpe primarne cirkulacije između spremnika i dodatnog generatora topline
$W_{x;sol;aux;m}$	kWh	Ukupna pomoćna energija solarnog sustava
$W_{sol;aux;h}$	kWh	Ukupna pomoćna energija , satna
$X_{x;m}$	-	Bezdimenzijski faktor
$Y_{x;m}$	-	Bezdimenzijski faktor
$\Delta\vartheta_{sto;h}$	°C	Promjena temperature u spremniku
$\Delta\vartheta_{col;h}$	°C	Temperaturna razlika fluida na ulazu i izlazu iz kolektora
η_o	-	Vršna učinkovitost kolektora
$\eta_{col;h}$	-	Učinkovitost kolektora u jednom satu
η_{loop}	-	Učinkovitost solarnog kruga
$\vartheta_{e;m}$	°C	Prosječna mjesečna vanjska temperatura
$\vartheta_{H;dis;rtn}$	°C	Projektna povratna temperatura sustava grijanja
$\vartheta_{i;hr}$	°C	Temperatura zraka u prostoriji
$\vartheta_{s1;h}$	°C	Temperatura u spremniku na početku sata
$\vartheta_{s2;h}$	°C	Temperatura u spremniku na kraju sata
$\vartheta_{s3;h}$	°C	Temperatura na koju pomoćni grijač treba zagrijati vodu
$\vartheta_{sol;loop;in;h}$	°C	Temperatura na ulazu u kolektor
$\vartheta_{sol;loop;out;h}$	°C	Temperatura na izlazu iz kolektora
$\vartheta_{sto;amb}$	°C	Prosječna temperatura zraka prostora u kojoj se nalazi spremnik
$\vartheta_{sto;avg;h}$	°C	Prosječna temperatura vode u spremniku u satu
$\vartheta_{W;cw;m}$	°C	Temperatura hladne vode
$\vartheta_{W;hw}$	°C	Postavna temperatura vode za PTV
$\vartheta_{W;srv}$	°C	Temperatura PTV-a nakon miješanja s hladnom vodom
$\vartheta_{x;bu;set}$	°C	Postavna temperatura vode pomoćnog grijača (grijanje/PTV)
$\vartheta_{x;high;m}$	°C	(grijanje/PTV)
$\vartheta_{x;low;m}$	°C	Prosječna mjesečna temperatura hladne vode
$\vartheta_{x;ref;m}$	°C	Referentna temperatura (grijanje/PTV)

SAŽETAK

Solarni toplovodni sustavi se mogu koristiti za grijanje potrošne tople vode (PTV), prostora ili bazenske vode. U ovome radu su za početak opisani ti sustavi zajedno sa svojim osnovnim komponentama. Glavni cilj je bio dimenzionirati solarni toplovodni sustav za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode niskoenergetske obiteljske kuće. Pri tome se pazilo da prikupljena toplinska energija pokrije najmanje 30% ukupnih godišnjih energetske potrebe te da period povrata investicije bude najmanji. Proračuni potrebne i isporučene toplinske energije solarnog toplovodnog sustava su provedeni prema mjesečnoj i satnoj metodi norme HRN EN 15316-4-3:2017. Uz to se koristio i program MGIPU Energetski Certifikator u kojeg su se unijele dimenzije i karakteristike kuće. Tim računalnim programom se može provesti proračun cjeloukupne energetske bilance zgrade, a u ovome radu se najveća pažnja posvetila analizi podataka dobivenih za solarni sustav. Na kraju rada su prikazani i komentirani dobiveni rezultati ovih triju metoda proračuna.

Ključne riječi: solarni toplovodni sustavi, niskoenergetska kuća

SUMMARY

Solar hot water systems can be used for heating of domestic water, space or swimming pool water. In this work is firstly given a description of solar hot water heating systems and their basic parts. The main goal was to size certain low-energy house solar DHW and space heating system. Task of the chosen solar system is to cover at least 30% of the house energy demands. The system must also have minimal payback period. Calculations have been performed according to the hourly and monthly method of the norm HRN EN 15316-4-3:2017. Besides that, dimensions and other house characteristics have been inputed into a computer program MGIPU Energetski Certifikator. This program has capability of calculating overall building energy balance.. For the purpose of this work, largest attention has been given to the solar system output values. Results of previously mentioned calculating methods and computer program have been analysed and compared with each other.

Key words: solar heating system, low-energy house

1. UVOD

Sunce svojim toplinskim zračenjem omogućuje život na Zemlji od njena stvaranja. Podaci o prvom praktičnom korištenju Sunčeva zračenja za zagrijavanje vode su stari preko 100 godina. To su bile crno obojane kutije punjene vodom. Trebalo je optimalno dozračenu energiju prikupljati cijeli dan da bi se voda zagrijala, a onda bi se ta toplina izgubila jer se nije koristila dobra izolacija. Zadnjih nekoliko desetljeća se digla svijest o štetnosti fosilnih goriva, ali i činjenici da su to neobnovljivi izvori koji nisu dostupni na svim lokacijama pa većina zemalja energetske ovisi o proizvođačima. To su neki od razloga zbog kojih se počelo okretati obnovljivim izvorima energije među kojima je i Sunčeva energija. Razvojem znanosti i tehnologije te ulaganjima u istraživanja je korištenje te energije postalo rasprostranjenije te se sve više koristi. Otkriveno je da Sunce može biti izvor energije ne samo za grijanje već i za hlađenje prostora i proizvodnju električne energije. Iako količina dozračene energije varira o geografskoj širini, na svaku lokaciju pada Sunčevo zračenje te tako svako područje ima potencijal za iskorištavanje te energije.

Za veću isplativost korištenja solarnog sustava za grijanje prostora je poželjno imati zgradu sa što manjim toplinskim gubicima kako bi toplinsko opterećenje bilo što manje. Tako će sustav moći pokriti veći udio potrebne energije i smanjiti će se upotreba ostalih izvora energije. Među energetske efikasne kuće spadaju niskoenergetske koje godišnje troše maksimalno 30 kWh/m² energije za grijanje.

1.1. Uvod u solarne toplovodne sustave i njihov proračun

Od običnih crnih kutija su kolektori i solarni sustavi znatno napredovali. Svaka komponenta sustava se pomno konstruira i proračunava kako bi učinkovitost sustava bila što veća. Važno je imati kvalitetno izrađene kolektore, dobro izolirani cjevovod i akumulacijski spremnik te dobar sustav solarne regulacije. Na tržištu postoji veći izbor različitih kolektora, spremnika i ostalih dijelova sustava. Kako uglavnom nema identičnih zgrada s istim potrebama toplinske energije, toplovodni sustavi ne mogu doći u istim kompletima za svaku zgradu. Korisno je provesti optimiranje sustava za konkretnu zgradu kako bi se najbolje iskoristio potencijal dozračene solarne energije za pokrivanje toplinskih potreba.

Iako se sada već duži niz godina koriste solarni toplovodni sustavi, oni su i dalje u razvoju kao i metode njihovog proračuna. Jedna od važnih inženjerskih zadaća je prognoziranje ponašanja solarnog sustava koje se simulira prije njegove instalacije. Za precizniji uvid u

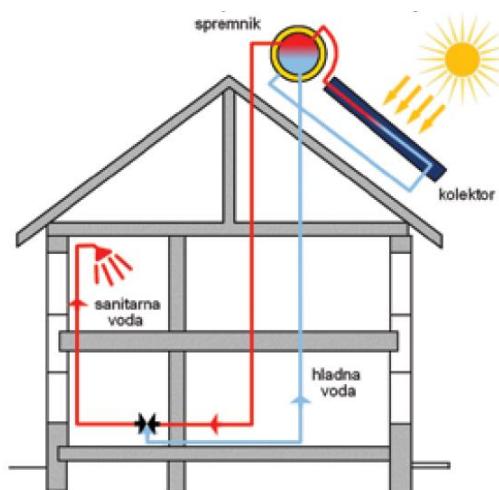
energetsku bilancu toplovodnog sustava i njegovo ponašanje je potrebno izvršiti eksperimentalna mjerenja. No ona su skupa i ne mogu se provesti prije same instalacije sustava u zgradu. Kao zamjena za skupa i dugotrajna eksperimentalna mjerenja razvijene su i verificirane različite simulacije kojima se procjenjuje ponašanje sustava. Postoji više matematičkih modela koji se između ostalog razlikuju po stupnju složenosti, vremenskom koraku i detaljnosti simulacije. Iako ni same simulacije ni eksperimenti ne mogu 100% procijeniti ponašanje realnog sustava, dovoljno su velike točnosti za optimiranje dimenzija komponenti sustava.

2. SOLARNI TOPLOVODNI SUSTAVI

U solarnim toplovodnim sustavima se pomoću solarnih kolektora prikuplja toplinska energija Sunca koja se najčešće iskorištava za zagrijavanje potrošne tople vode (PTV). Osim pripreme PTV-a, sustavi se primjenjuju i kod grijanja prostora te vode u bazenima. Njihovo tržište raste, a primjenjivi su kako u manjim kućanstvima tako i u većim stambenim zgradama.

2.1. Sustavi s prirodnom cirkulacijom - termosifonski

Najjednostavniji solarni sustav za pripremu PTV-a je termosifonski. Prirodna cirkulacija se uspostavlja uslijed djelovanja sila uzgona. Voda se zagrijava prolazeći kroz kolektor i cirkulira zbog razlike u gustoći toplije vode na vrhu i hladnije na dnu sustava. Topla voda se zbog manje gustoće diže iznad hladne te tako nastaje prirodna cirkulacija kroz sustav. Ove sustave karakteriziraju niži protoci kroz kolektor. Prednost je njihova jednostavnost; nemaju cirkulacijsku pumpu pa ne troše ni električnu energiju za njen pogon, ne trebaju ni izmjenjivače topline, automatiku i niz ostalih elemenata armature koji su potrebni u složenijim sustavima s prisilnom cirkulacijom. Zbog navedenog im je i cijena niža. Najveća mana ove izvedbe je da se spremnik mora nalaziti iznad kolektora što može biti problem kod smještanja spremnika većih dimenzija. Da bi spremnik zauzeo što manje mjesta u potkrovlju, postavlja se vodoravno. Kako bi instalacija bila praktičnija, koriste se kompaktne izvedbe termosifonskih sustava koji su sastavljeni od kolektora i spremnika u obliku bojlera montiranog iznad njega. Ovi sustavi su prikladniji za korištenje kod područja s većom insolacijom.



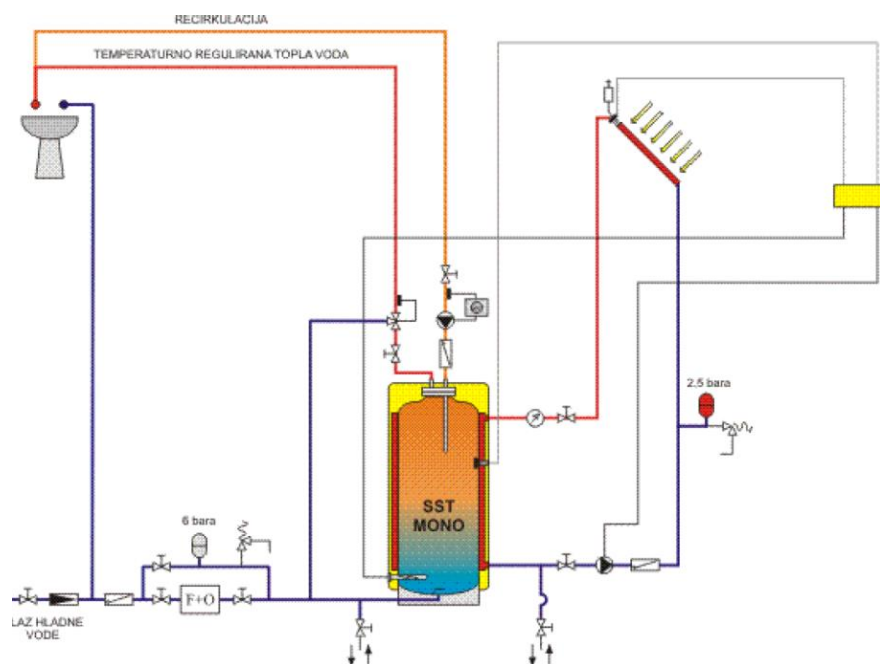
Slika 1 S Termosifonski sustav pripreme PTV-a [11]

2.2. Sustavi s prisilnom cirkulacijom

Sustavi s prisilnom cirkulacijom imaju ugrađenu pumpu koja omogućava cirkulaciju fluida. Osim pumpe, sustav se dodatno sastoji još od diferencijalne automatike za isključivanje pumpe kada razlika između temperature medija na izlazu iz kolektora i vode u spremniku postane manja od zadane vrijednosti (najčešće 3-5°C). Na taj način se sprječava rashlađivanje spremnika. Ovaj sustav je složeniji i skuplji od termosifonskog, ali ima niz prednosti. Protok može biti veći, pristup je jednostavniji, spremnik ne mora biti iznad kolektora pa se može smjestiti u podrumu zgrade. Sustavi s prisilnom cirkulacijom mogu biti izvedeni na različite načine sa strane izvedbe spremnika, veličine sustava i sastavnih komponenti.

Primjeri konfiguracija:

- *Jednostavan sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV-a (Slika 2) - toplina se s radnog medija kolektorskog kruga predaje vodi u spremniku na način da medij struji kroz dvostruki plašt spremnika od vrha prema dnu.*

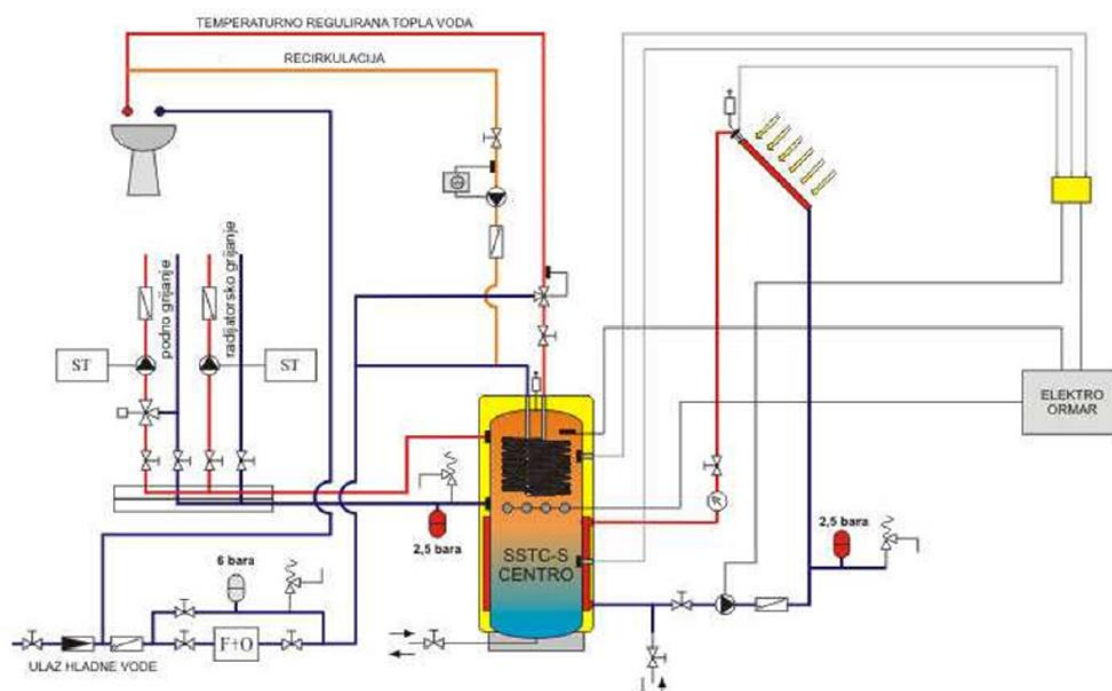


Slika 2 Solarni sustav s jednim spremnikom za pripremu PTV-a [2]

- *S dvostrukim spremnikom - kombinirani sustav za pripremu PTV-a i grijanje prostora. Spremnik za vodu iz sustava grijanja ima u sebi manji spremnik s PTV-om i još dva izmjenjivača topline. Gornji je od pomoćnog izvora topline, a kroz donji se dovodi toplina prikupljena kolektorima. PTV u manjem spremniku izmjenjuje toplinu s*

vodom iz vanjskog spremnika. Kako ne bi došlo do narušavanja temperaturne raspodjele vode u većem spremniku, koje bi nastalo kod miješanja zagrijane vode s hladnom, svježa voda se dovodi direktno u manji spremnik. Tako će voda više temperature biti pri vrhu, a niža pri dnu spremnika. S time će biti i niža temperatura radnog medija na ulazu u kolektor što dovodi do veće efikasnosti kolektora.

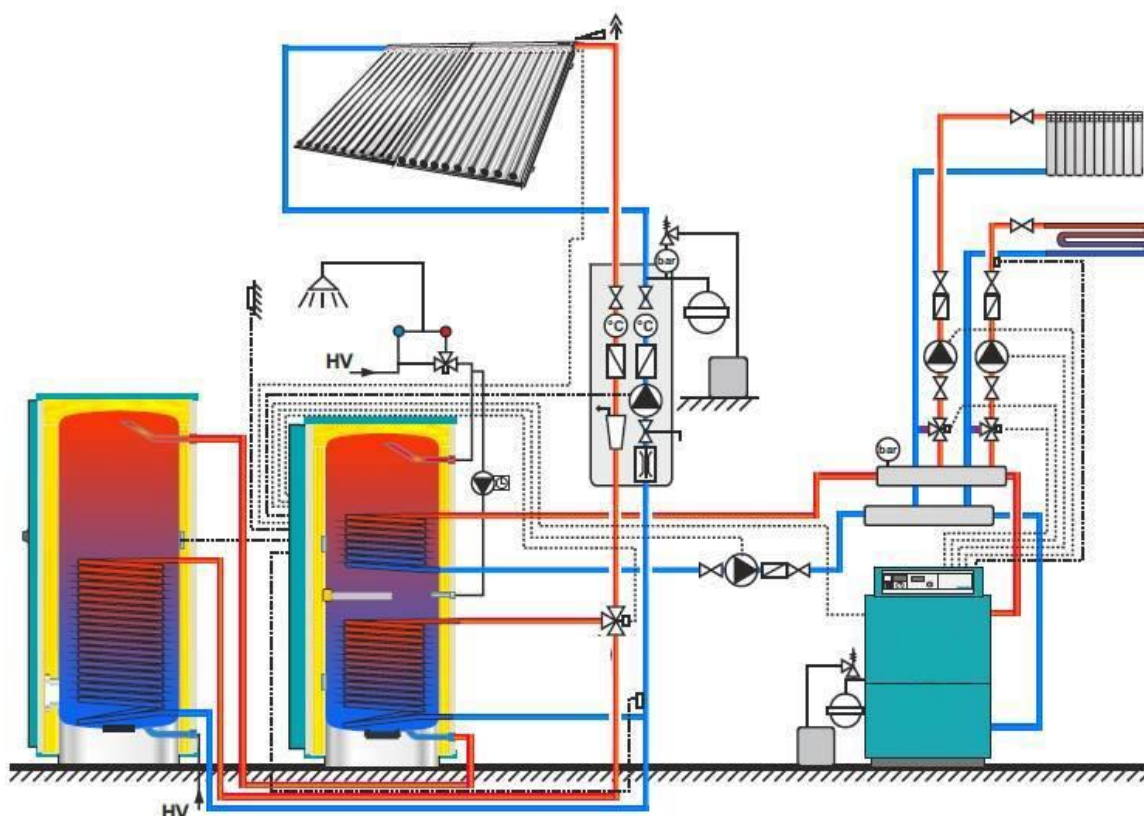
- *S protočnim zagrijačem umjesto akumulacijskog spremnika unutar većeg spremnika* (Slika 3)- sprječava se miješanje hladne vode i prethodno zagrijane vode. Ovdje nema opasnosti od razvoja legionele pa temperature PTV-a mogu biti niže od 55-60 °C. Za razliku od prethodnog primjera, u ovom slučaju mora temperatura vode u gornjem dijelu spremnika biti desetak stupnjeva viša od one u protočnom zagrijaču kako bi se uspjela izmijeniti toplina. To će dovesti zbog češćeg paljenja pomoćnog generatora topline.



Slika 3 Sustav s protočnim izmjenjivačem PTV-a [2]

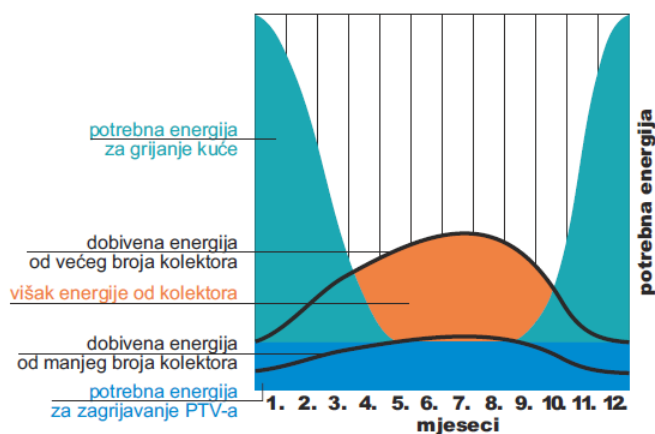
- *Kombinacija protočnog zagrijača s manjim akumulacijskim spremnikom* - kod ovog sustava se iskorištavaju dobre strane prethodna dva spremnika
- *Ugradnja dva spremnika kod većih sustava* (Slika 4) - koristi se kod sustava za koje je potreban obujam spremnika veći od 500 l (samo za PTV ili kombinaciju PTV i grijanje prostora). Prvo kolektori zagrijevaju jedan spremnik do željene temperature,

a nakon toga se medij kolektorskog kruga uz pomoć troputnog ventila usmjeri prema drugom spremniku. Ova konfiguracija omogućava veću efikasnost kolektora pošto je temperatura polaza u kolektorski krug ovisna o temperaturi drugog spremnika koji je hladniji od prvog. Dobre strane su još brže zagrijavanje prvog spremnika i kompenzacija viškovi topline u ljetnim mjesecima.

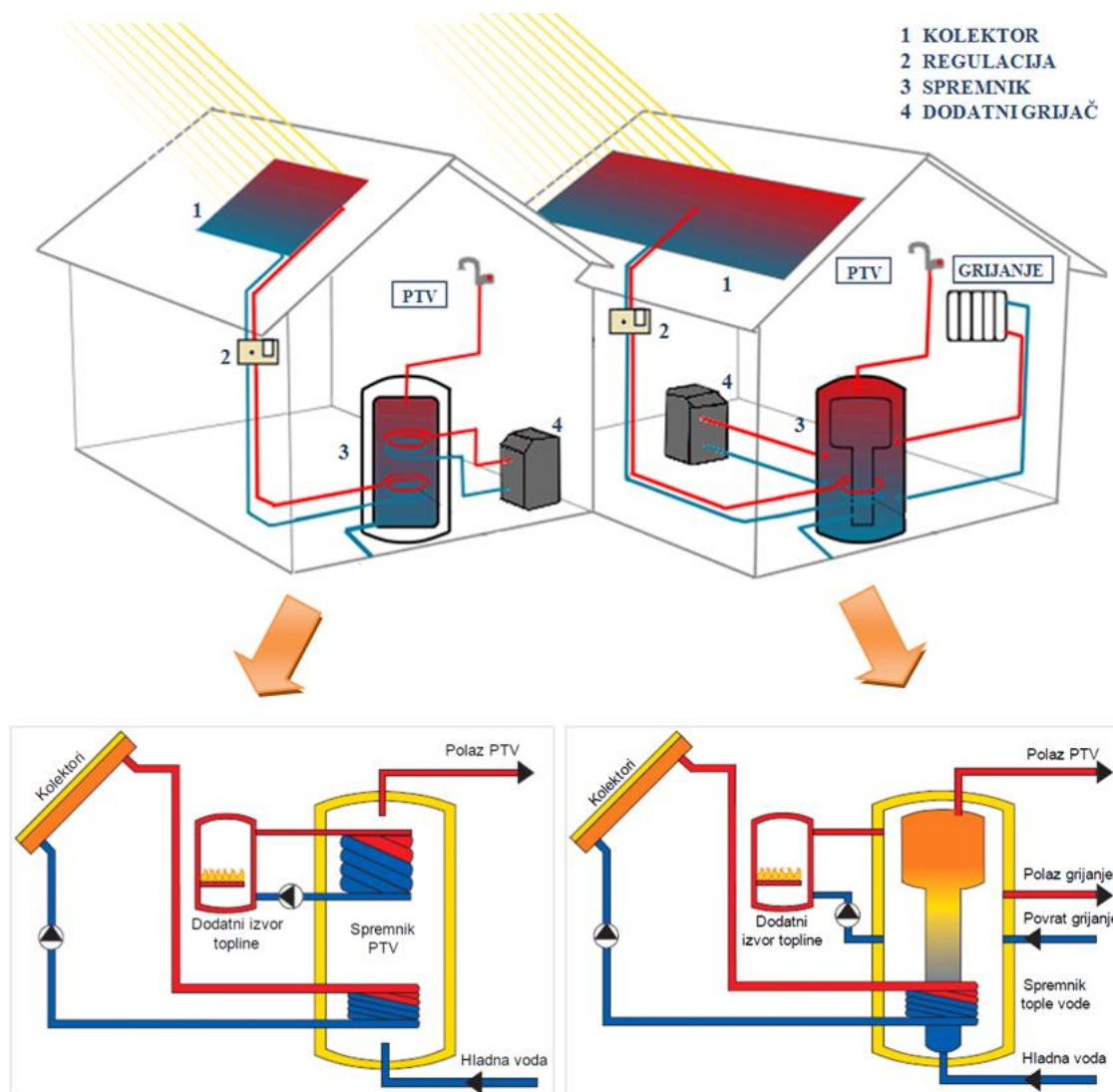


Slika 4 Toplovodni sustav s dva spremnika [7]

Izvedbe s dvostrukim spremnikom i dva spremnika se koriste kod kombinacije pripreme PTV-a i grijanje prostora. Najveći zahtjevi za toplinskom energijom potrebnom za grijanje prostora su zimi kada je Sunčevo zračenje najmanje. Iz tog razloga se ne može pokriti 100% potrebe za grijanjem. Ukoliko bi se ugradila vrlo velika površina kolektora da bi se prikupilo što više toplinske energije zimi, u ljetnim mjesecima bi došlo do pregrijavanja sustava (vidi Slika 5). Stoga se sustavi moraju dobro optimirati. Obično se koriste kombinirani sustavi za pripremu PTV-a i grijanje prostora koji se dimenzioniraju tako da zimi pokriju otprilike 10 do 15% toplinskih potreba. Ovakav sustav je potpora konvencionalnom sustavu grijanja prostora. Njegovim korištenjem se smanjuje količina potrebnog goriva kod kotla ili električne energije grijača.



Slika 5 Općeniti prikaz raspodjele potreba za toplinskom energijom i dobivene energije kolektorima [7]



Slika 6 Solarni toplovodni sustav za pripremu PTV-a u usporedbi sa sustavom za pripremu PTV-a i grijanje prostora [1]

3. DIJELOVI SOLARNIH TOPLOVODNIH SUSTAVA

U osnovne dijelove ovih sustava spadaju solarni kolektori i akumulacijski spremnik. Između njih u cjevovodu cirkulira radni fluid (voda ili mješavina vode s glikolom otporna na smrzavanje) koji je prijenosnik toplinske energije i preko izmjenjivača zagrijava vodu u spremniku. Uz kolektor i spremnik ovi sustavi sadrže i izolirani cjevovod, ekspanzijsku posudu, ventile, cirkulacijsku pumpu (kod sustava s prisilnom cirkulacijom), solarnu regulaciju.

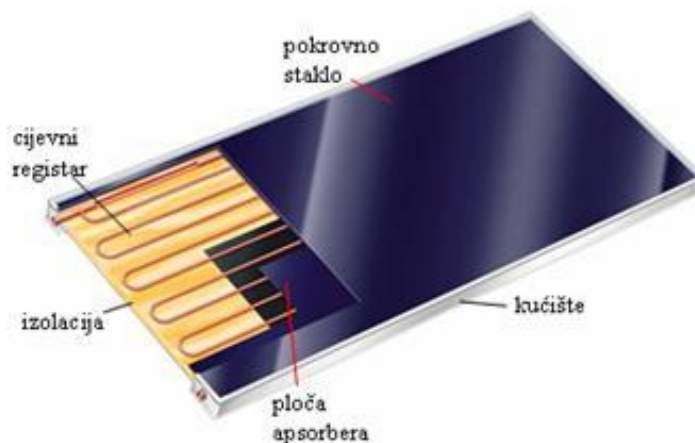
3.1. Kolektori solarnog zračenja

Najvažniji dio solarnog sustava su kolektori koji prikupljaju Sunčevu energiju i predaju je radnom mediju. Oni moraju što bolje apsorbirati dozračenu Sunčevu energiju, imati što manje toplinske gubitke i što bolji prijenos topline na radni medij. Kolektor je jedan od najvažnijih dijelova solarnog sustava te zajedno sa spremnikom čini do 60% cijene samog sustava. Najčešći tipovi kolektora u toplovodnim solarnim sustavima su pločasti i vakumski. Odabir vrste i površine kolektora ovisi o klimatskom području, kutu zakrenutosti kolektora prema jugu (azimut β) i kutu nagiba α , upotrebi kolektora (samo za PTV ili i za grijanje prostora), volumenu spremnika, željenoj temperaturi vode.

3.1.1. Pločasti kolektori

U današnje vrijeme se u solarnim toplovodnim sustavima najviše koriste pločasti kolektori. Obično se instaliraju na krov zgrade okrenuti prema jugu i nagnuti prema horizontali pod kutom otprilike jednakim zemljopisnoj širini lokacije gdje se ugrađuje. Optimalni godišnji nagib u Hrvatskoj iznosi 37° . Na efikasnost rada cijelog sunčanog toplovodnog sustava značajno utječe efikasnost prikupljanja Sunčeve energije kolektorima. Ona je definirana kao udio Sunčeve toplinske energije predane vode i energije upadnog Sunčevog zračenja na plohu kolektora određene površine. Najčešće se određuje eksperimentalno u akreditiranom laboratoriju. Najveća efikasnost je određena optičkim svojstvima pokrovnog stakla i apsorbera. Osim toga, efikasnost će biti veća što je manja temperatura radnog medija pa je poželjno da se ona održava što nižom, ali dovoljno visokom da se postiže željena temperatura

vode u spremniku. Niža temperatura okolišnog zraka te smanjenje Sunčevog zračenja pri istim temperaturama radnog medija također smanjuju efikasnost kolektora.



Slika 5 Osnovni dijelovi pločastog kolektora[9]

Pločasti kolektori se sastoje od sljedećih dijelova:

1. Pokrivna ploča od stakla ili drugog dijatermijskog materijala u jednom ili više slojeva
2. Apsorber za apsorpciju toplinskog zračenja Sunca na kojeg su spojene cijevi
3. Cijevni registar za protjecanje ogrjevnog medija
4. Priključci s armaturom za punjenje, pražnjenje i odzračivanje kolektora
5. Izolacija za smanjenje toplinskih gubitaka kroz bočne i stražnju stranicu kolektora
6. Kućiste za smještaj sastavnih dijelova kolektora i njihovu zaštitu od prašine i vlage

3.1.2. Vakuumski kolektori

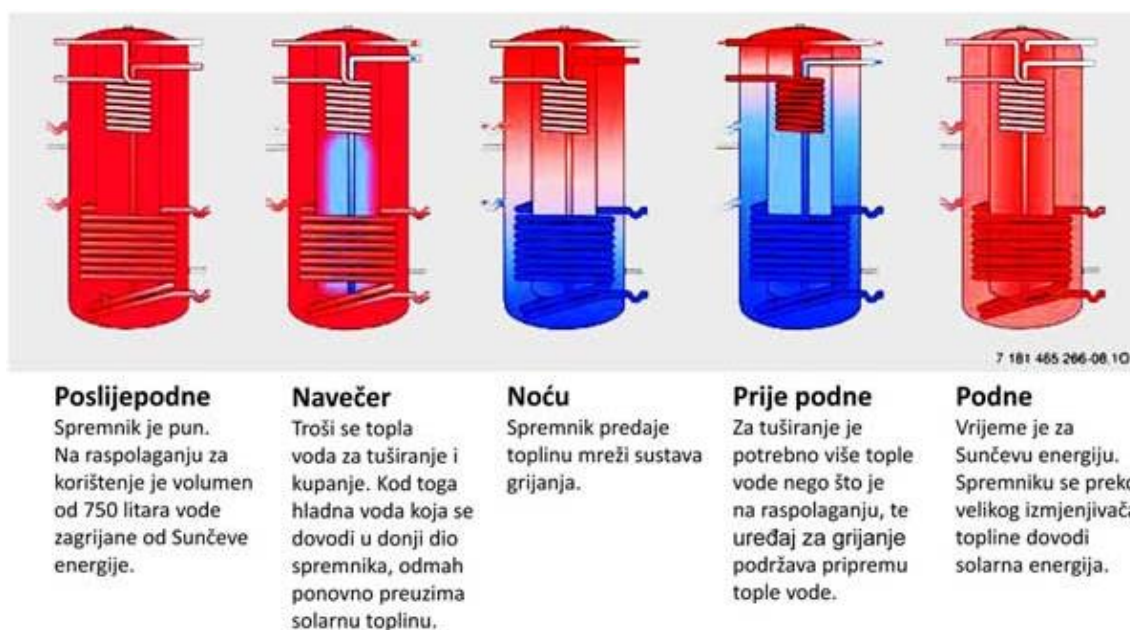
Najviše korišteni tip kolektora nakon pločastih su vakumski kolektori. Kod njih je iz prostora između apsorbera i stakla izvučen zrak kako bi se smanjili konvektivni gubici s apsorbera na okolinu. Da bi se spriječilo pucanje pokrovnog stakla uslijed većih naprezanja u materijalu kod nastalog vakuuma, apsorber je smješten u vakuumirane staklene cijevi. Njihova prednost pred pločastim kolektorima su manji toplinski gubici pri istim uvjetima rada. Zbog manjih gubitaka se omogućava postizanje većih temperatura na izlazu kolektora od onih kod pločastih pa s time i bolje zagrijavanje vode u spremniku. Korištenje staklenih cijevi rezultira manjom korisnom površinom apsorbera u odnosu na ukupnu projiciranu površinu kolektora. Kako se efikasnost i cijena kolektora određuje prema ukupnoj projiciranoj površini apsorbera, efikasnost vakuumskih može biti niža od pločastih kolektora istih karakteristika. To je često u dijelu radne krivulje kod ljetnog režima rada, dok je kod zimskog obrnuto. Iz tog razloga su vakuumski kolektori pogodniji za korištenje u hladnijim područjima s nižom insolacijom kada će im efikasnost biti veća od one pločastih kolektora.



Slika 6 Vakuumski kolektor [8]

3.2. Akumulacijski spremnik

U spremniku se zagrijava voda preko izmjenjivača topline, pohranjuje voda, održava se različita temperatura u različitim slojevima te sprječava brz gubitak topline. Spremnik je zaštićen od korozije i toplinski izoliran. U njemu su slojevi vode različite temperature pa su iz tog razloga spremnici uski i visoki kako bi se omogućilo optimalno strujanje topline. Sunčeva energija dovodi se preko donjeg izmjenjivača topline u spremniku, a gornji izmjenjivač zadužen je za dogrijavanje, najčešće putem kotla za grijanje. Dogrijavanje jamči da će korisnici imati na raspolaganju dovoljno tople vode, čak i ako nema dosta Sunčeve energije.



Slika 7 Princip rada Bosch solarnog kombiniranog spremnika za PTV i podrška grijanju [11]

Potrošnja potrošne tople vode ovisi o godišnjem dobu, navika ukućana, danu u tjednu, klimatskim prilikama te o temperaturi vode. Topla voda više temperature se miješa s hladnom pa se njena potrošnja smanjuje, ali su gubici topline veći. No kod visokih temperatura je veće izdvajanje kamenca i može doći do korozije u toplovodnom sustavu. Najveća bi temperatura tople vode u spremniku trebala biti između 45 i 55 °C što je dovoljno visoko za sprječavanje razmnožavanja legionele. Više temperature nisu potrebne jer smanjuju efikasnost kolektora. Obujam spremnika ovisi o dnevnoj potrošnji tople vode. Za obiteljsku kuću se obično uzima spremnik obujma od 200 do 300 l kod sustava za pripremu PTV-a.

4. KORIŠTENE METODE PRORAČUNA SUSTAVA

4.1. Norma HRN EN 15316-4-3:2017 - mjesečna metoda

Proračun se temelji na f-chart metodi. Veličine relevantne kod proračuna sustava za pripremu potrošne tople vode se označavaju s donjim indeksom W, a one kod proračuna sustava grijanja prostora s H. Jednadžbe s indeksom x se posebno provode za sustav pripreme PTV-a i tada se umjesto x piše W, odnosno H kod proračuna sustava grijanja prostora.

Veličine koje se unose za određeni solarni sustav:

$A_{sol;mod}$ - površina modula kolektora (*odabrano*)

N_{col} - broj kolektora (*odabrano*)

η_o - vršna učinkovitost kolektora (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za odabrani tip kolektora*)

α_1, α_2 - koeficijenti toplinskih gubitaka kolektora prvog reda (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za odabrani tip kolektora*)

$K_{hem}(50^\circ)$ - faktor polukružne promjene kuta upadnog zračenja (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za odabrani tip kolektora*)

$P_{sol;pmp}$ - snaga solarne pumpe (*izračunato preko izraza iz aneksa B korištene norme*)

$V_{sto;tot}$ - nazivni volumen spremnika

$V_{sto;bu}$ - volumen spremnika zagrijavan dodatnim generatorom topline

$H_{sto;ls;tot}$ - ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika (*izračunato preko izraza iz aneksa B korištene norme*)

$H_{loop;p}$ - koeficijent toplinskih kolektorskog kruga (*izračunato preko izraza iz aneksa B korištene norme*)

Ostale ulazne veličine (prema redoslijedu pojavljivanja u narednim jednadžbama):

$Q_{x;sol;us;m}$ - mjesečno toplinsko opterećenje solarnog sustava: toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja i pripreme PTV-a kako bi se pokrila toplinska potreba i svi toplinski gubici podsustava predaje razvoda, umanjeno za vraćenu pomoćnu energiju i iskorištene gubitke (*vrijednosti za promatranu zgradu iz programa MGIPU*)

$\vartheta_{W;srv}$ - temperatura vode na slavini (*vrijednost iz aneksa B korištene norme*)

$\vartheta_{W;cw;m}$ - temperatura svježje hladne vode (*vrijednost iz aneksa B korištene norme*)

$\vartheta_{e;m}$ - prosječna vanjska temperatura zraka (*klimatski podatak za određenu lokaciju*)

$\vartheta_{H;dis;rtm}$ - temperatura povrata sustava grijanja (*vrijednost iz aneksa B korištene norme*)

$\vartheta_{x;bu;set}$ - postavna temperatura PTV-a/grijanja (*vrijednost iz aneksa B korištene norme*)

$\vartheta_{sto;amb}$ - temperatura prostorije u kojoj se nalazi spremnik

$t_{ci;m}$ - broj sati u mjesecu (*izračunato za svaki mjesec*)

$I_{sol;m}$ - mjesečna prosječna insolacija na kolektor (*klimatski podatak za određenu lokaciju*)

f_{app} - korekcijski faktor (*vrijednost iz aneksa B korištene norme*)

a,b,c,d,e,f - faktori sunčanog spremnika (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za kolektorski krug spojen na sunčani spremnik*)

$\vartheta_{x;low}$ - temperatura

$\vartheta_{x;high}$ - temperatura

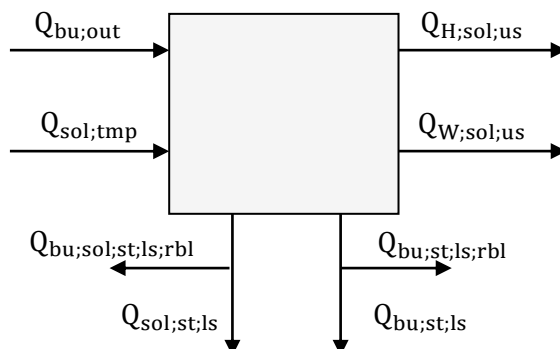
$f_{bu;ins}$ - faktor izolacije cjevovoda dodatnog grijača (*vrijednost iz aneksa B korištene norme*)

t_{aux} - ukupno vrijeme rada pumpe kolektorskog kruga

$W_{x;bu;aux;nom;m}$ - energija za pogon pomoćnih uređaja dodatnog grijača (*mora se ručno unijeti, u ovom radu je uzeta vrijednost iz programa MGIPU*)

$Q_{x;bu;ls;nom;m}$ - toplinski gubici dodatnog grijača (*mora se ručno unijeti, u ovom radu je uzeta vrijednost iz programa MGIPU*)

ENERGETSKA BILANCA SPREMNIKA PREMA JEDNADŽBAMA KORIŠTENE NORME:



Proračun:

Mjesečni udio isporučene toplinske energije sustavu pripreme PTV-a, odnosno grijanja:

$$f_{x;use;m} = \frac{Q_{W;sol;us;m}}{Q_{W;sol;us;m} + Q_{H;sol;us;m}} \quad [-] \quad (1)$$

Efektivna površina solarnog kolektora za potrebe pripreme PTV-a, odnosno grijanja prostora:

$$A_{x;sol;m} = f_{x;use;m} \cdot A_{sol;mod} \cdot N_{col} \quad [m^2] \quad (2)$$

Efektivni obujam solarnog spremnika za potrebe pripreme PTV-a, odnosno grijanja prostora:

$$V_{x;sto;tot} = f_{x;use;m} \cdot V_{sto;tot} \quad [l] \quad (3)$$

Efektivni obujam dijela solarnog spremnika koji se zagrijava dodatnim grijačem:

$$V_{x;sto;bu} = f_{x;use;m} \cdot V_{sto;bu} \quad [l] \quad (4)$$

Udio spremnika koji se zagrijava dodatnim grijačem:

$$f_{x;aux} = f_{bu} \cdot \frac{V_{x;sto;bu}}{V_{x;sto;tot}} \quad [-] \quad (5)$$

Efektivni toplinski gubici solarnog spremnika:

$$H_{x;sto;ls} = f_{x;use;m} \cdot H_{sto;ls;tot} \quad [W/K] \quad (6)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga:

$$H_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + \frac{H_{loop;p}}{A_{x;sol;m}} \quad [W/K] \quad (7)$$

Referentna temperatura:

-kod pripreme PTV-a:

$$\vartheta_{W;ref;m} = 11,6 + 1,18 \cdot \vartheta_{W;srv} + 3,86 \cdot \vartheta_{W;cw;m} - 1,32 \cdot \vartheta_{e;m} \quad [^{\circ}C] \quad (8)$$

-kod grijanja prostora:

$$\vartheta_{H;ref;m} = 0,75 \cdot \vartheta_{H;dis;rtm} + 55 \quad [^{\circ}C] \quad (9)$$

Korekcijski faktor kapaciteta solarnog spremnika:

$$f_{x;sto;m} = \left(\frac{75 \cdot A_{x;sol;m}}{V_{sto;sol}} \right)^{0,25} \quad [-] \quad (10)$$

Toplinski gubici dijela solarnog spremnika zagrijavanog dodatnim grijačem:

$$Q_{x;bu;sto;ls;m} = H_{x;sto;ls} \cdot \frac{V_{x;sto;tot} - V_{sto;sol}}{V_{x;sto;tot}} \cdot (\vartheta_{x;bu;set} - \vartheta_{sto;amb}) \cdot \frac{t_{ci;m}}{1000} \quad [kWh] \quad (11)$$

Korigirano toplinsko opterećenje solarnog sustava:

$$Q_{x;sol;ls;us} = Q_{x;sol;us;m} + Q_{x;bu;sto;ls;m} \quad (12)$$

Izračun faktora X_m :

$$X_m = \frac{A_{x;sol;m} \cdot H_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot (\vartheta_{x;ref;m} - \vartheta_{e;m}) \cdot f_{sto;m} \cdot t_{ci;m}}{Q_{sol;ls;us} \cdot 1000} \quad [-] \quad (13)$$

Izračun faktora Y_m :

$$Y_m = \frac{A_{x;sol;m} \cdot K_{hem}(50^\circ) \cdot \eta_o \cdot \eta_{loop} \cdot I_{sol;m} \cdot t_{ci;m}}{Q_{sol;ls;us} \cdot 1000} \quad [-] \quad (14)$$

Procjena isporučene topline solarnog sustava:

$$Q_{sol;tmp;m} = f_{app} \cdot (a \cdot Y_m + b \cdot X_m + c \cdot Y_m^2 + d \cdot X_m^2 + e \cdot Y_m^3 + f \cdot X_m^3) \cdot Q_{sol;ls;us} \quad [kWh] \quad (15)$$

Procjena solarnog udjela:

$$f_{tmp;m} = \frac{Q_{sol;tmp;m}}{Q_{sol;ls;us}} \quad [-] \quad (16)$$

Toplinski gubici dijela spremnika grijanog solarnim sustavom:

$$Q_{x;sol;sto;ls;m} = H_{x;sto;ls} \cdot \frac{V_{x;sto;sol}}{V_{x;sto;tot}} \cdot (\vartheta_{x;low} + (\vartheta_{x;high} - \vartheta_{x;low}) \cdot f_{tmp;m} - \vartheta_{sto;amb;m}) \cdot f_{tmp;m} \cdot \frac{t_{ci;m}}{1000} \quad [kWh] \quad (17)$$

Toplinska energija isporučena solarnim sustavom:

$$Q_{x;sol;out;m} = Q_{sol;tmp;m} - Q_{x;sol;sto;ls;m} \quad [kWh] \quad (18)$$

Solarni udio:

$$f_{sol;m} = \frac{Q_{x;sol;out;m}}{Q_{sol;ls;us}} \quad [-] \quad (19)$$

Toplinska energija koju mora isporučiti dodatni grijač:

$$Q_{x;bu;out;m} = Q_{x;sol;us;m} - Q_{x;sol;out;m} + Q_{x;bu;sto;ls;m} \quad [kWh] \quad (20)$$

Isporučena energija solarnog sustava i dodatnog grijača:

$$Q_{x;sol;bu;out;m} = Q_{sol;us;m} \quad [kWh] \quad (21)$$

Toplinski gubici cjevovoda dodatnog grijača:

$$Q_{x;bu;dis;ls;m} = f_{bu;ins} \cdot Q_{x;bu;out;m} \quad [kWh] \quad (22)$$

Ukupni iskoristivi toplinski gubici solarnog sustava:

$$Q_{x;sol;ls;rbl;m} = f_{rbl} \cdot (Q_{x;sol;sto;ls;m} + Q_{x;bu;sto;ls;m} + Q_{x;bu;dis;ls;m}) \quad [\text{kWh}] \quad (23)$$

Efektivna snaga cirkulacijske pumpe solarnog kruga:

$$P_{x;sol;pmp} = f_{x;use;m} \cdot P_{sol;pmp} \quad [\text{W}] \quad (24)$$

Mjesečno vrijeme rada pumpe:

$$t_{aux;m} = \frac{I_{sol;m}}{\sum_{m=1}^{12} I_{sol;m}} \cdot t_{aux} \quad [\text{kWh}] \quad (25)$$

Potrebna pomoćna energija za pogon pumpe solarnog kruga:

$$W_{x;sol;aux;m} = P_{x;sol;pmp} \cdot \frac{t_{aux;m}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (26)$$

Umanjeni iznos potrošnje pomoćne energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog grijača:

$$W_{x;bu;aux;m} = W_{x;bu;aux;nom;m} \cdot (1 - f_{sol;m}) \quad [\text{kWh}] \quad (27)$$

Umanjeni iznos toplinskih gubitaka dodatnog grijača:

$$Q_{x;bu;ls;m} = Q_{x;bu;ls;nom;m} \cdot (1 - f_{sol;m}) \quad [\text{kWh}] \quad (28)$$

4.2. Norma HRN EN 15316-4-3:2017 - satna metoda

Pri korištenju satne metode se uzimaju u obzir temperature po slojevima spremnika na početku i kraju svakog sata koje se proračunavaju u posebnoj normi proračuna spremnika. U sklopu ovog rada ta metoda nije korištena već se proračun pojednostavio dodatnim jednadžbama označenim *.

Veličine koje se unose za određeni solarni sustav:

$A_{sol;mod}$ - površina modula kolektora

$N_{sol;mod}$ - broj kolektora

\dot{m}_{col} - protok kroz kolektor (*dobiven množenjem specifičnog protoka od 40 kg/s po m² s površinom kolektora*)

c_w - toplinski koeficijent vode

η_o - vršna učinkovitost kolektora (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za odabrani tip kolektora*)

$K_{hem}(50^\circ)$ - faktor polukružne promjene kuta upadnog zračenja (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za odabrani tip kolektora*)

α_1, α_2 - koeficijenti toplinskih gubitaka kolektora prvog reda (*vrijednost iz aneksa B korištene norme za odabrani tip kolektora*)

$P_{sol;pmp}$ - snaga solarne pumpe (*izračunato prema izrazu iz aneksa B korištene norme*)

$P_{sol;ctr}$ - snaga sustava regulacije (*izračunato prema izrazu iz aneksa B korištene norme*)

V_{sto} - nazivni volumen spremnika

Ostali ulazni podaci:

$I_{sol;h}$ - satna insolacija na kolektor (*klimatski podatak za određenu lokaciju i kut nagiba kolektora*)

$\vartheta_{outside;h}$ - prosječna satna vanjska temperatura (*klimatski podatak za određenu lokaciju*)

t_{ci} - sat

$Q_{H;sol;us;h}$ - satno toplinsko opterećenje (*u ovom proračunu je vrijednost izračunata preko satnog iznosa potrebne energije za grijanje prostora $Q_{H;nd}$ (koje su uzete*

iz programa MGIPU), množenjem s određenim faktorom da zbroj satnih vrijednosti daje jednako mjesečno opterećenje sunčanog sustava kao u mjesečnoj metodi)

\dot{m}_0 - udio od ukupne dnevne potrošnje PTV-a

n - broj osoba u kućanstvu

\dot{m}_{osoba} - dnevna potrošnja vode (temperature 45°C) po osobi (uzeto 50 l/dan)

ρ_w - gustoća vode

ϑ_{svj} - temperatura svježe vode (10°C)

Proračun:

Instalirana površina solarnog kolektora:

$$A_{sol} = A_{sol;mod} \cdot N_{sol;mod} \quad [\text{kWh}] \quad (29)$$

Prva procjena prosječne temperature vode u kolektoru:

$$\vartheta_{col;avg;h} = \vartheta_{sol;loop;in;h-1} + \frac{0,4 \cdot I_{sol;h} \cdot A_{sol}}{\dot{m}_{col} \cdot c_w \cdot 2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (30)$$

Učinkovitost kolektora u određenom satu:

$$\eta_{col;h} = \eta_o \cdot K_{hem}(50^{\circ}) - a_1 \cdot T_h^* - a_2 \cdot T_h^{*2} \cdot I_{sol;h} \quad [-] \quad (31)$$

Reducirana temperaturna razlika kolektora:

$$T_h^* = \frac{\vartheta_{col;avg;h} - \vartheta_{outside;h}}{I_{sol;h}} \quad [\text{Km}^2/\text{h}] \quad (32)$$

Ulazna toplinska energija na absorberu kolektora:

$$Q_{sol;gen;h} = \eta_o \cdot I_{sol;h} \cdot A_{sol} \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (33)$$

Toplinska energija na izlazu iz kolektora:

$$Q_{sol;out;h} = \eta_{col;h} \cdot I_{sol;h} \cdot A_{sol} \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (34)$$

Toplinski gubici cjevovoda kolektorskog kruga:

$$Q_{sol;loop;ls;h} = H_{sol;loop} \cdot (\vartheta_{col;avg;h} - \vartheta_{sol;amb;h}) \cdot t_{tci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (35)$$

Iskoristivi toplinski gubici kolektorskog kruga:

$$Q_{sol;loop;rbl;h} = Q_{sol;loop;ls;h} \quad [\text{kWh}] \quad (36)$$

ako $Q_{H;sol;us;h} = 0$ tada:

$$Q_{sol;loop;rbl;h} = 0$$

Toplinska energija na izlazu iz kolektorskog kruga:

$$Q_{\text{sol;loop;out;h}} = Q_{\text{sol;out;h}} - Q_{\text{sol;loop;ls;h}} \quad [\text{kWh}] \quad (37)$$

Proračun spremnika:

*Prolaskom kroz kolektor se fluid zagrijao za:

$$\Delta\vartheta_{\text{col;h}} = \frac{Q_{\text{sol;out;h}}}{\dot{m}_{\text{col}} \cdot c_w} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (38)$$

*Temperatura na izlazu iz kolektora (ulazu u spremnik) iznosi:

$$\vartheta_{\text{sol;loop;out;h}} = \vartheta_{\text{sol;loop;in;h}} + \Delta\vartheta_{\text{col;h}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (39)$$

*Temperatura na ulazu u kolektor u svakom satu je jednaka temperaturi spremnika na dnu prethodnog sata:

$$\vartheta_{\text{sol;loop;in;h}} = \vartheta_{\text{s2;h-1}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (40)$$

*Protok PTV-a u svakom satu iznosi:

$$\dot{m}_h = \dot{m}_0 \cdot n \cdot \dot{m}_{\text{osoba}} \cdot \rho_w \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \quad (41)$$

*Protok pri potrošnji PTV-a temperature $\vartheta_{\text{s1;h}} > \vartheta_{\text{topl}} (45^{\circ}\text{C})$:

$$\dot{m}_{\text{PTV}} = \dot{m}_h \cdot \frac{\vartheta_{\text{topl}} - \vartheta_{\text{svj}}}{\vartheta_{\text{s1;h}} - \vartheta_{\text{svj}}} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \quad (42)$$

*Energija koja se utroši na PTV u svakom satu ako je $\vartheta_{\text{s1;h}} > 45^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\text{PTV;h}} = \frac{\dot{m}_{\text{PTV}}}{3600} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{\text{s1;h}} - \vartheta_{\text{svj}}) \cdot t_{\text{tci}} \quad [\text{kWh}] \quad (43)$$

-ako je $\vartheta_{\text{s1;h}} < 45^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\text{PTV;h}} = \frac{\dot{m}_h}{3600} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{\text{s1;h}} - \vartheta_{\text{svj}}) \cdot t_{\text{tci}} \quad [\text{kWh}] \quad (44)$$

*Toplinski gubici spremnika:

$$Q_{\text{sto;ls;h}} = 0,16 \cdot \sqrt{V_{\text{sto}}} \cdot (\vartheta_{\text{sto;avg;h}} - \vartheta_{\text{sto;amb;h}}) \quad [\text{kWh}] \quad (45)$$

-gdje je prosječna temperatura spremnika u satu:

$$\vartheta_{\text{sto;avg;h}} = \frac{(\vartheta_{\text{s1;h}} - \vartheta_{\text{s2;h}})}{2} \quad [\text{kWh}] \quad (46)$$

*Toplinski gubici dijela spremnika kojeg zagrijava solarni sustav:

$$Q_{\text{sol;st;ls;h}} = f_{\text{sol;h}} \cdot Q_{\text{sto;ls;h}} \quad [\text{kWh}] \quad (47)$$

-gdje je solarni udio:

$$f_{\text{sol;h}} = \frac{Q_{\text{sol;loop;out;h}}}{Q_{\text{PTV;h}} + Q_{\text{H;sol;us;h}}} \quad [\text{kWh}] \quad (48)$$

*Toplinska energija akumulirana u spremniku:

$$Q_{\text{sto}} = Q_{\text{sol;loop;out;h}} - Q_{\text{PTV;h}} - Q_{\text{H;sol;us;h}} - Q_{\text{sol;st;ls}} \quad [\text{kWh}] \quad (49)$$

*Promjena temperature u spremniku kroz sat:

$$\Delta \vartheta_{\text{sto;h}} = \frac{Q_{\text{sto}} \cdot 3600}{V_{\text{sto}} \cdot c_w \cdot \rho_w} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (50)$$

*Temperatura u spremniku na početku svakog sata:

$$\vartheta_{\text{s1;h}} = \vartheta_{\text{s2;h-1}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (51)$$

*Temperatura u spremniku na kraju svakog sata:

$$\vartheta_{\text{s2;h}} = \vartheta_{\text{s1;h}} + \Delta \vartheta_{\text{sto;PTV,H;h}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (52)$$

*Toplinska energija koju pomoćni grijač mora isporučiti pojedini dan:

$$Q_{\text{bu;d}} = Q_{\text{PTV;d}} + Q_{\text{H;sol;us;d}} - Q_{\text{sol;loop;out;h}} + Q_{\text{bu;st;ls;d}} \quad [\text{kWh}] \quad (53)$$

Potrebna pomoćna energija:

$$W_{\text{sol;aux;h}} = P_{\text{sol;ctr}} \cdot t_{\text{tci}} \quad [\text{kWh}] \quad (54)$$

ako : $Q_{\text{sol;loop;out;h}} = 0$ tada:

$$W_{\text{sol;aux;h}} = (P_{\text{sol;ctr}} + P_{\text{sol;pmp}}) \cdot t_{\text{tci}} \quad [\text{kWh}] \quad (55)$$

4.3. MGIPU Energetski Certifikator

MGIPU Energetski Certifikator je računalni program kojeg su izradili Fakultet organizacije i informatike te Sveučilište u Zagrebu. Njime se koriste ovlaštene osobe za izradu energetskih certifikata od strane Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja. Program omogućava proračun energetskog svojstva zgrade te primarne energije. U njega se unose potrebni podaci za proračun svih veličina vezanih uz energetsko svojstvo određene zgrade. Definiraju se dimenzije i karakteristike zgrade, toplinski gubici i dobitci, termotehnički sustavi grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a, rasvjete i pregled energetskog certifikata. Programom se vrši dinamički satni proračun potrebne toplinske energije zgrade. Mogu se proračunati sve vrste tehničkih sustava te njihovih pripadajućih dijelova i uređaja. Također, računalni program je primjenjiv za različite tipove zgrada (obiteljske kuće, višestambene zgrade, hoteli, bolnice...). U nastavku su prikazani osnovni koraci unošenja podataka za definiranje objekta i njegovog termotehničkog sustava te pregled rezultata proračuna.

OSNOVNO

Pokretanjem programa se prikazuje korisničko sučelje s prikazanim osnovnim informacijama o samom računalnom programu.

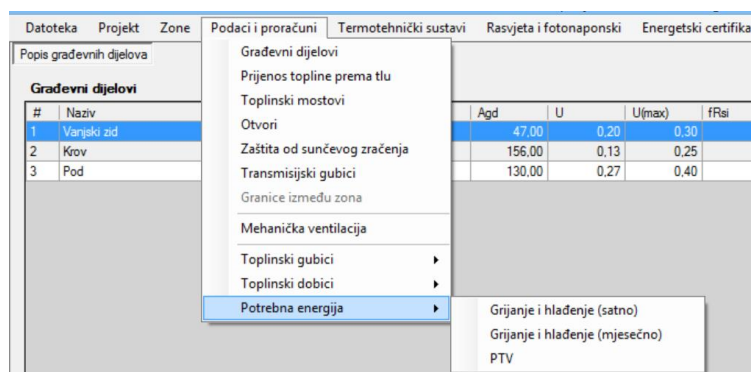
Slika 8 MGIPU Energetski certifikator - korisničko sučelje

Pritiskom na gumb *Datoteka* i tada na *Novi projekt* pokrećemo stvaranje novog projekta čija je svojstva potrebno definirati. Nakon toga se otvara prozor s poljima u koje se unose osnovni podaci projekta. Osim toga, u izborniku se pojavljuju i gumbi kojima možemo pristupiti klimatskim podacima. Ti podaci (temperatura i vlažnost zraka, Sunčevo zračenje ovisno o strani svijeta, brzina vjetra, tlak vodene pare) se koriste kod određenih proračuna (npr. toplinskih gubitaka/dobitaka). Oni su posebno definirani za odabrani referentni grad (Zagreb ili Split) te su unesene njihove godišnje, mjesečne i satne vrijednosti.

Slika 9 MGIPU Energetski Certifikator - Unošenje osnovnih podataka projekta

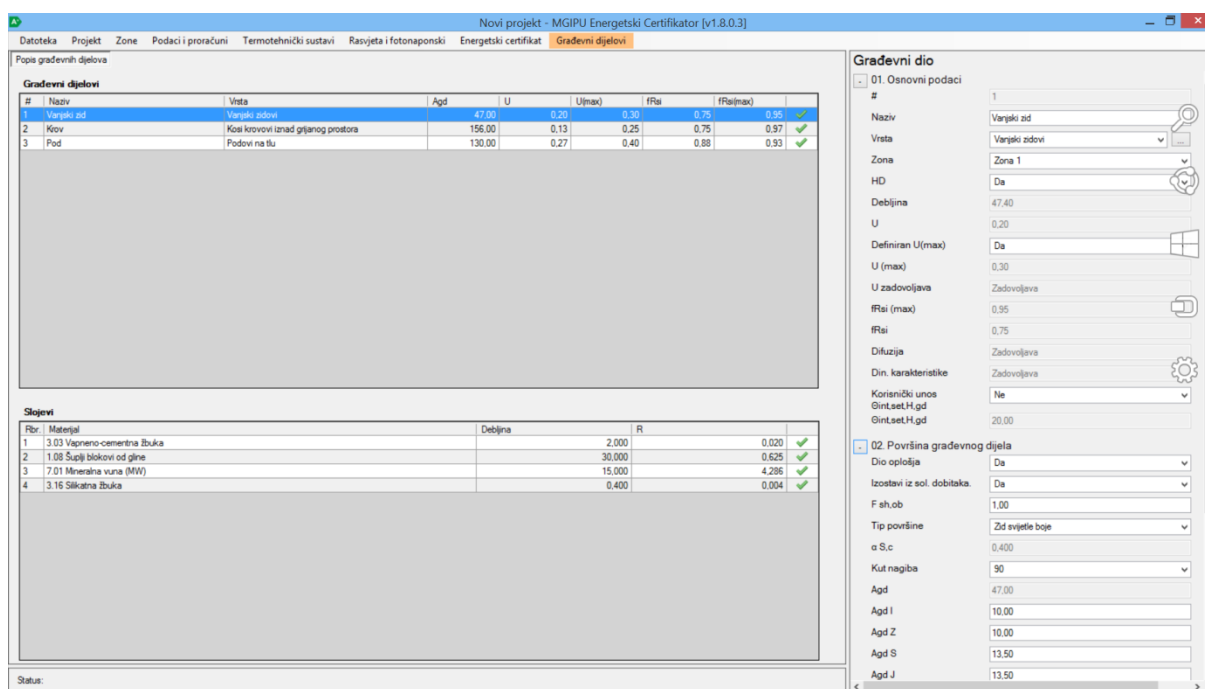
SVOJSTVA ZGRADE

Veličina, svojstva i kompozicija same zgrade se može detaljno definirati kako bi se odredili toplinski gubici i dobici te potrebna energija za grijanje i hlađenje prostora. Za određenu zonu možemo preko gumba *Podaci i proračuni* pristupiti opcijama prikazanim na slici 10 te za svaku unijeti potrebne podatke.



Slika 10 MGIPU Energetski Certifikator - odabir prikaza potrebne energije

Definiranje građevnih dijelova ove zgrade i njihovih slojeva odabrane niskoenergetske kuće koja je promatrana u ovom radu je izvršeno korištenjem brošure *Tipske mjere za povećanje energetske efikasnosti u kućanstvima* [3]. U njoj se nalazi popis građevinskih dijelova i njihove dimenzije za niskoenergetski objekt te maksimalni dozvoljeni koeficijenti prolaska topline prozora, vrata, zida, krova, poda i stropa.



Slika 11 MGIPU Energetski Certifikator - definiranje građevnih dijelova

Pod izbornikom *Potrebna energija* se može pristupiti prikazu mjesečnih i satnih iznosa potreba za hlađenjem, grijanjem prostora i PTV.

DEFINIRANJE TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA

Nakon definiranja karakteristika zgrade i određene potrebne energije za grijanje, PTV i hlađenje, slijedi definiranje termotehničkog sustava. Pod izbornikom *Termotehnički sustavi*, zatim pritiskom na *Definirani sustavi* dolazimo do određivanja sustava za pojedinu zonu. Može se unijeti proizvoljan broj termotehničkih sustava i definirati koliki udio od ukupno potrebne energije pokrivaaju.

Prilikom dodavanja sustava grijanja i pripreme PTV-a se bira koliko kotlova, dizalica topline i solarnih sustava se nalazi u podsustavu proizvodnje. Iznos rezultata proračuna u podsustavu proizvodnje se može vidjeti zasebno za svaki sustav generiranja topline i to s prikazanom mjesečnom raspodjelom. Prednost u generiranju energije imaju generatori počevši s lijeve strane prema desnoj. Prema tome će solarni sustav pokušati zadovoljiti sve potrebe za toplinskom energijom, a ono što ne uspije će sljedeći definirani generator pokušati isporučiti itd. Karakteristike samog solarnog sustava (površina i vrsta kolektora i dr.) se unose ručno u polja s desne strane (vidi slika 12). Uz njega je potrebno definirati i drugi generator topline.

Mjesec	Naziv	Q _{H,gen,out} (Sobni) [kWh]	Q _{H,gen,out} (GVK) [kWh]	Q _{H,gen,out} [kWh]	Q _{W,gen,out} [kWh]	Q _{H,W,gen,out} [kWh]	Q _{gen,je} [kWh]	Q _{gen,je,env,tbl} [kWh]
Stojač	Podsustav proizvodnje grijanja	1064.48	0.00	1064.48	245.74	1310.22	4.43	
Veljača	Podsustav proizvodnje grijanja	673.37	0.00	673.37	221.96	895.33	17.72	
Ožujak	Podsustav proizvodnje grijanja	397.56	0.00	397.56	245.74	643.31	54.81	
Travanj	Podsustav proizvodnje grijanja	82.85	0.00	82.85	237.82	320.67	104.89	
Svibanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0.00	0.00	0.00	245.74	245.74	68.65	
Lipanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0.00	0.00	0.00	237.82	237.82	70.31	
Srpanj	Podsustav proizvodnje grijanja	0.00	0.00	0.00	245.74	245.74	75.11	
Kolovoz	Podsustav proizvodnje grijanja	0.00	0.00	0.00	245.74	245.74	71.71	
Rujan	Podsustav proizvodnje grijanja	0.00	0.00	0.00	237.82	237.82	63.60	
Listopad	Podsustav proizvodnje grijanja	121.79	0.00	121.79	245.74	367.54	77.40	
Studeni	Podsustav proizvodnje grijanja	359.65	0.00	359.65	237.82	597.47	14.21	
Prosinac	Podsustav proizvodnje grijanja	872.77	0.00	872.77	245.74	1118.52	0.00	

Mjesec	Θ _{avg} [°C]	I _m [°W/m ²]	E _{sol,in} [kWh/m ²]	Q _{H,sol,out} [kWh]	P _H [t]	A _H [m ²]	Θ _{H,net} [°C]	ΔT _H [K]	X _H [t]	Y _H [t]	Q _{H,sol,out} [kWh]
Stojač	9.60	63.80	47.500	1064.48	0.81	3.66	100.00	100.60	1.348	0.110	27.2
Veljača	2.20	99.60	66.900	673.37	0.75	3.38	100.00	97.80	1.732	0.228	77.21
Ožujak	6.50	152.00	113.100	397.56	0.62	2.78	100.00	93.50	2.551	0.535	131.15
Travanj	11.20	180.60	130.000	82.85	0.26	1.16	100.00	88.80	4.704	1.235	55.85
Svibanj	15.90	206.00	153.300	0.00	0.00	0.00	100.00	84.10	0.000	0.000	0.00
Lipanj	19.20	215.70	155.300	0.00	0.00	0.00	100.00	80.80	0.000	0.000	0.00
Srpanj	21.10	222.20	165.300	0.00	0.00	0.00	100.00	79.90	0.000	0.000	0.00
Kolovoz	20.10	208.70	155.300	0.00	0.00	0.00	100.00	83.60	0.000	0.000	0.00
Rujan	16.40	192.10	138.300	0.00	0.00	0.00	100.00	89.90	0.000	0.000	0.00
Listopad	11.10	138.70	103.900	121.79	0.33	1.49	100.00	88.90	4.246	0.861	57.82
Studeni	5.60	69.90	50.300	359.65	0.60	2.71	100.00	94.40	2.684	0.257	31.15
Prosinac	0.90	47.00	35.000	872.77	0.78	3.51	100.00	99.10	1.555	0.095	0.00
UKUPNO =	10.80	149.77	109.517	3572.47	0.59	2.67	100.00	89.20	2.689	0.474	380.96

Slika 12 MGIPU Energetski Certifikator - definiranje solarnog sustava

Rezultati proračuna koji su relevantni u ovom radu su oni solarnog sustava. Veličine koje program izračunava su prikazane na slikama 13-16. Dio izlaznih podataka za odabrane dimenzije sustava će biti kasnije analiziran i prikazan u usporedbi s vrijednostima iz proračuna prema normi.

Generatori													
Solarni sustavi	Dizalice topline	Kogeneracija	Daljnisko grijanje	Kotlovi	DGA	Električni Zagrijači							
Mjesec	$\theta_{e,avg}$ [°C]	I_m [°W/m ²]	$E_{sol,in}$ [kWh/m ²]	$Q_{H,sol,us}$ [kWh]	P_H [-]	A_H [m ²]	$\theta_{H,ref}$ [°C]	ΔT_H [K]	X_H [-]	Y_H [-]	$Q_{H,sol,out}$ [kWh]	$Q_{W,sol,us}$ [kWh]	
Siječanj	-0.60	63.80	47.500	1189.62	0.83	4.13	100.00	100.60	1.367	0.111	31.12	251.56	
Veljača	2.20	99.60	66.900	752.50	0.77	3.84	100.00	97.80	1.766	0.231	87.19	227.22	
Ožujak	6.50	152.00	113.100	304.08	0.55	2.74	100.00	93.50	3.296	0.689	123.10	251.56	
Travanj	11.20	180.60	130.000	0.00	0.00	0.00	100.00	88.80	0.000	0.000	0.00	243.45	
Svibanj	15.90	206.00	153.300	0.00	0.00	0.00	100.00	84.10	0.000	0.000	0.00	250.63	
Lipanj	19.20	215.70	155.300	0.00	0.00	0.00	100.00	80.80	0.000	0.000	0.00	242.55	
Spanj	21.10	222.20	165.300	0.00	0.00	0.00	100.00	78.90	0.000	0.000	0.00	250.63	
Kolovoz	20.10	208.70	155.300	0.00	0.00	0.00	100.00	79.90	0.000	0.000	0.00	250.63	
Rujan	16.40	192.10	138.300	0.00	0.00	0.00	100.00	83.60	0.000	0.000	0.00	242.55	
Listopad	11.10	139.70	103.900	15.64	0.06	0.29	100.00	88.90	6.517	1.316	9.88	251.56	
Studenj	5.60	69.90	50.300	368.73	0.60	3.01	100.00	94.40	2.923	0.278	34.35	243.45	
Prosinac	0.90	47.00	35.000	967.35	0.79	3.97	100.00	99.10	1.593	0.097	0.00	251.56	
UKUPNO =	10.80	149.77	109.517	3597.93	0.60	3.00	100.00	89.20	2.910	0.454	285.64	2957.36	

Slika 13 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 1.dio, Zagreb

Generatori													
Solarni sustavi	Dizalice topline	Kogeneracija	Daljnisko grijanje	Kotlovi	DGA	Električni Zagrijači							
P_W [-]	A_W [m ²]	$\theta_{W,ref}$ [°C]	ΔT_W [K]	X_W [-]	Y_W [-]	$Q_{W,sol,out}$ [kWh]	$\theta_{a,avg}$ [°C]	$Q_{H,sol,st,ls}$ [kWh]	$Q_{W,sol,st,ls}$ [kWh]	$Q_{st,ls}$ [kWh]	$Q_{H,bu,dis,ls}$ [kWh]	$Q_{W,bu,dis,ls}$ [kWh]	
0.17	0.87	98.19	98.79	1.343	0.111	6.95	20.00	1.79	1.89	82.47	0.62	0.14	
0.23	1.16	94.50	92.30	1.667	0.231	27.66	20.00	7.16	7.52	74.49	1.74	0.55	
0.45	2.26	88.82	82.32	2.902	0.689	107.17	20.00	27.68	29.14	82.47	2.46	2.14	
1.00	5.00	82.62	71.42	5.561	1.807	214.39	20.00	0.00	58.28	79.81	0.00	4.29	
1.00	5.00	76.41	60.51	4.729	2.069	251.53	20.00	0.00	68.63	82.47	0.00	5.03	
1.00	5.00	72.06	52.86	4.131	2.167	257.17	20.00	0.00	70.17	79.81	0.00	5.14	
1.00	5.00	69.55	48.45	3.787	2.232	274.43	20.00	0.00	74.88	82.47	0.00	5.49	
1.00	5.00	70.87	50.77	3.968	2.096	262.91	20.00	0.00	71.74	82.47	0.00	5.26	
1.00	5.00	75.75	59.35	4.639	1.930	234.07	20.00	0.00	63.87	79.81	0.00	4.68	
0.94	4.71	82.75	71.65	5.253	1.316	172.89	20.00	43.21	47.00	82.47	0.20	3.46	
0.40	1.99	90.01	84.41	2.614	0.278	26.82	20.00	6.16	7.29	79.81	0.69	0.54	
0.21	1.03	96.21	95.31	1.532	0.097	0.57	20.00	0.00	0.16	82.47	0.00	0.01	
0.70	3.50	83.14	72.34	3.510	1.252	1836.57	20.00	86.01	500.57	971.06	5.71	36.73	

Slika 14 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 2.dio, Zagreb

Generatori												
Solarni sustavi	Dizalice topline	Kogeneracija	Daljinsko grijanje	Kotlovi	DGA	Električni Zagrijači						
$Q_{sol,js}$ [kWh]	t_{aux} [h]	$W_{col,aux}$ [kWh]	$Q_{HW,sol,us}$ [kWh]	$Q_{HW,sol,out}$ [kWh]	f_{sol} [-]	$t_{bu,aux}$ [h]	$W_{bu,aux,nom}$ [kWh]	$W_{bu,aux}$ [kWh]	$W_{sol,aux}$ [kWh]	$Q_{sol,aux,rnd}$ [kWh]	$Q_{sol,aux,rbl}$ [kWh]	$Q_{sol,st,js,rbl}$ [kWh]
4.44	72.29	2.53	1441.18	38.08	0.026	219.85	0.48	0.47	3.00	2.25	0.75	3.68
16.97	101.81	3.56	979.72	114.85	0.117	149.46	0.32	0.29	3.85	2.89	0.96	14.68
61.43	172.12	6.02	555.65	230.27	0.414	84.76	0.18	0.11	6.13	4.60	1.53	56.82
62.57	197.84	6.92	243.45	214.39	0.881	37.14	0.08	0.01	6.93	5.20	1.73	58.28
73.66	233.30	8.17	250.63	251.53	1.004	38.23	0.08	0.00	8.17	6.12	0.00	0.00
75.31	236.34	8.27	242.55	257.17	1.060	37.00	0.08	0.00	8.27	6.20	0.00	0.00
80.37	251.56	8.80	250.63	274.43	1.095	38.23	0.08	0.00	8.80	6.60	0.00	0.00
77.00	236.34	8.27	250.63	262.91	1.049	38.23	0.08	0.00	8.27	6.20	0.00	0.00
68.55	210.47	7.37	242.55	234.07	0.965	37.00	0.08	0.00	7.37	5.53	0.00	0.00
93.87	158.12	5.53	267.20	182.77	0.684	40.76	0.09	0.03	5.56	4.17	1.39	90.21
14.68	76.55	2.68	612.18	61.17	0.100	93.39	0.20	0.18	2.86	2.15	0.72	13.46
0.17	53.26	1.86	1218.91	0.57	0.000	185.94	0.40	0.40	2.27	1.70	0.57	0.16
629.02	2000.00	70.00	6555.29	2122.21	0.616	1000.00	2.17	1.49	71.49	53.62	7.65	237.28

Slika 15 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 3.dio, Zagreb

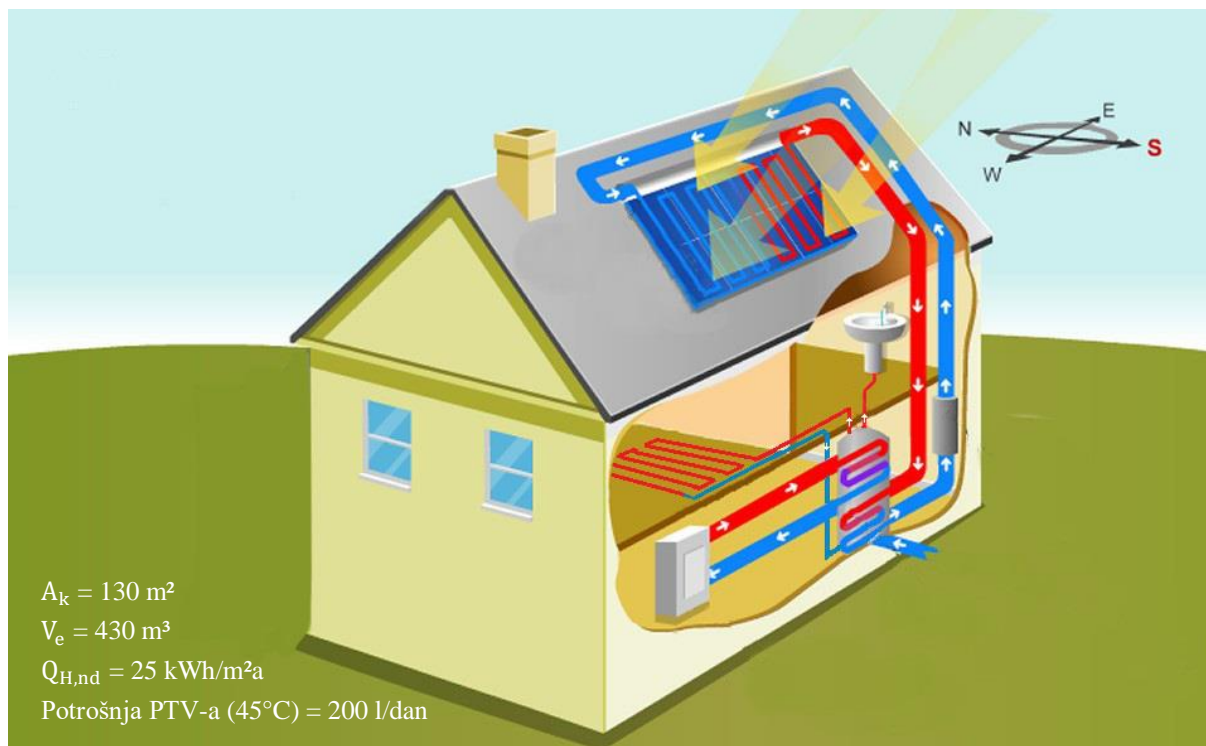
Generatori											
Solarni sustavi	Dizalice topline	Kogeneracija	Daljinsko grijanje	Kotlovi	DGA	Električni Zagrijači					
$Q_{sol,st,js,rbl}$ [kWh]	$Q_{H,bu,dis,js,rbl}$ [kWh]	$Q_{W,bu,dis,js,rbl}$ [kWh]	$Q_{bu,dis,js,rbl}$ [kWh]	$Q_{sol,js,rbl}$ [kWh]	$\eta_{rd,m}$ [-]	$Q_{sol,rndtbl,g}$ [kWh]	$Q_{sol,rndtbl,ng}$ [kWh]	$Q_{sol,rndtbl}$ [kWh]	$Q_{gen,sol}$ [kWh]	$Q_{bu,m}$ [kWh]	$Q_{sol,renew}$ [kWh]
3.68	0.62	0.14	0.76	5.19	0.7830	5.71	0.00	5.71	79.56	1476.95	40.96
14.68	1.74	0.55	2.30	17.94	0.7629	14.82	0.00	14.82	62.11	912.17	126.05
56.82	2.46	2.14	4.61	62.96	0.6949	45.15	0.00	45.15	30.26	310.49	269.75
58.28	0.00	4.29	4.29	64.30	0.5799	40.01	0.00	40.01	25.82	14.87	248.19
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.4029	0.00	6.12	6.12	18.87	11.85	250.63
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1576	0.00	6.20	6.20	14.78	0.00	242.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0734	0.00	6.60	6.60	13.08	0.00	250.63
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0008	0.00	6.20	6.20	15.99	0.00	250.63
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.3373	0.00	5.53	5.53	20.62	23.57	234.07
90.21	0.20	3.46	3.66	95.26	0.5976	58.91	0.00	58.91	0.00	25.52	236.68
13.46	0.69	0.54	1.22	15.39	0.7190	12.34	0.00	12.34	67.58	606.26	70.84
0.16	0.00	0.01	0.01	0.73	0.7759	2.26	0.00	2.26	82.33	1298.41	0.69
237.28	5.71	11.13	16.84	261.78	0.4904	179.19	30.66	209.86	431.01	4680.08	2221.68

Slika 16 MGIPU Energetski Certifikator - izlazni podaci solarnog sustava 4 .dio, Zagreb

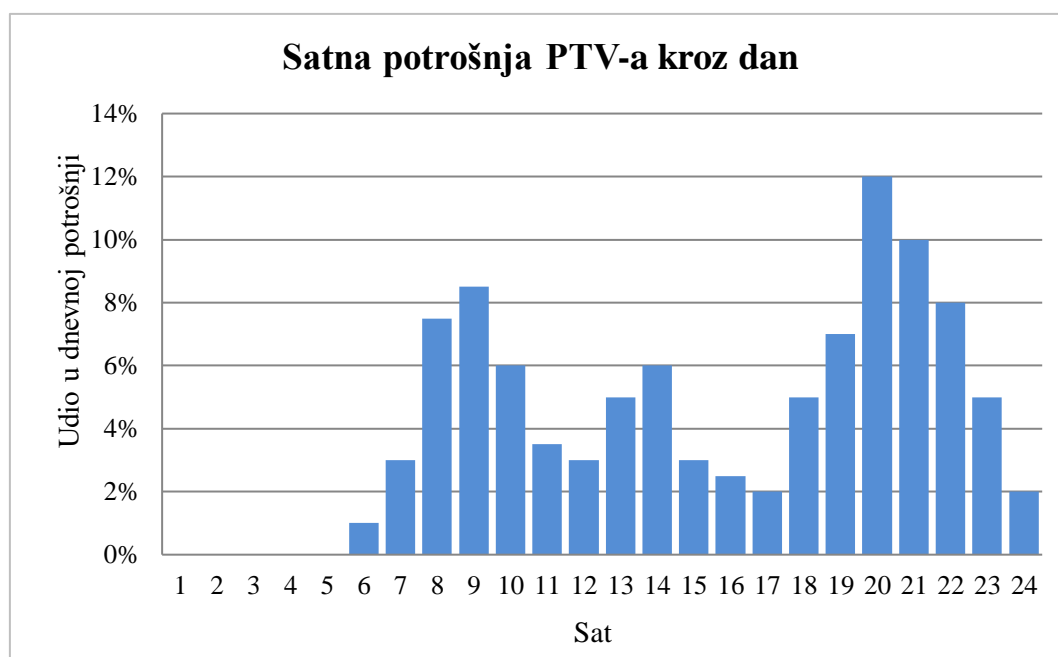
Osim opisanog, programom se može izvršiti proračun s određenim sustavom rasvjete i dodati se fotonaponski sustav. Na kraju se vidi i iznos primarne energije po elementima termotehničkog sustava i energentima. Nakon svih proračuna imamo mogućnost pregledati Energetski certifikat za zgradu čije smo karakteristike definirali.

5. DIMENZIJE SUSTAVA, ULAZNI PODACI I REZULTATI

Odabrana je niskoenergetska kuća korisne površine 130 m^2 u kojoj borave 4 osobe. Dnevna potrošnja tople vode iznosi 50 l po osobi (referente temperature 45°C). Grijanje prostora je niskotemperaturno, a toplinska opterećenja Zagreba i Splita su, radi bolje usporedbe rezultata, pretpostavljena jednaka i iznose 25 kWh/m^2 za sustav grijanja i 20 kWh/m^2 za PTV. Gubici distribucije i predajue iznose oko 10% . Solarni kolektori su orijentirani prema jugu s kutom nagiba od 45° . Za površinu kolektora nisu odabrane iste veličine u slučaju Zagreba i Splita. Razlog tome su razlike u klimatskim uvjetima, tj. zbog većih vrijednosti vanjskih temperatura i insolacije u Splitu je potrebna manja površina kolektora. Mjesečna i satna raspodjela potreba za grijanje i PTV je uzeta iz programa MGIPU kako bi ulazni podaci u različite metode proračuna bili jednaki. Dnevna raspodjela PTV-a kroz dan je prikazana na dijagramu 1.



Slika 17 Razmatrana kuća s toplovodnim solarnim sustavom



Dijagram 1 Raspodjela potrošnje PTV-a

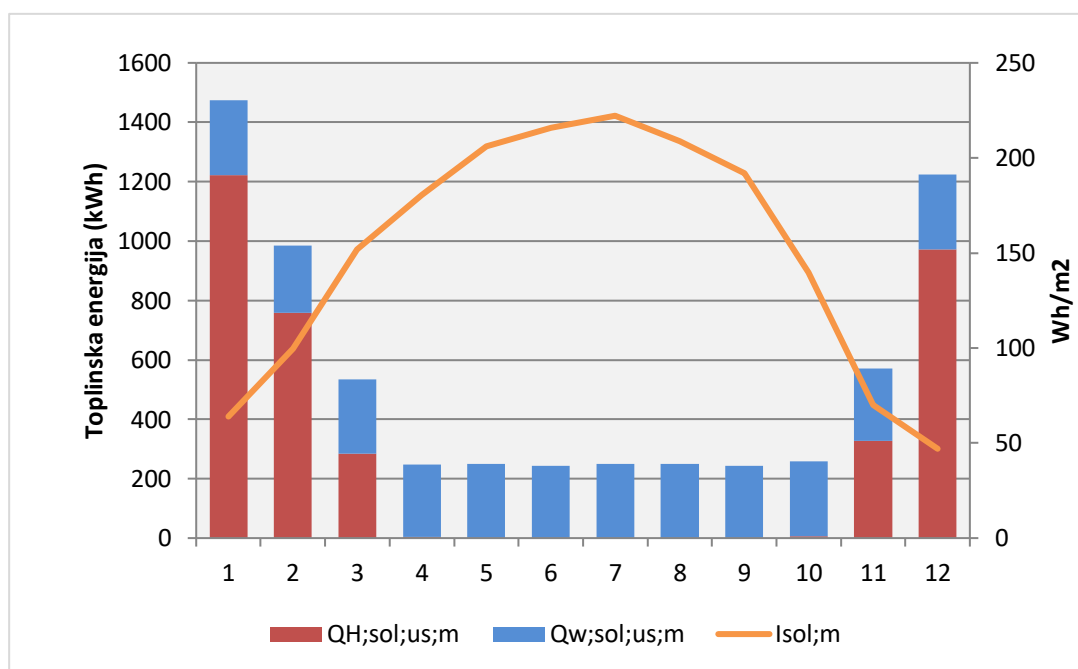
	Zagreb	Split	
A_{sol}	4,8	3,6	m ²
η_0	0,8		/
a_1	3,5		m ²
a_2	0		W/m ² K
$K_{hem(50)}$	0,94		W/ m ² K ²
$\dot{m}_{col;spec}$	40		kg/s m ²
$V_{sto;tot}$	300	300	l
$V_{sto;bu}$	100	100	l

Tablica 1 Veličine kolektora i spremnika

U sljedećoj tablici su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti Sunčeva zračenja, vanjske temperature zraka i iznosi toplinske energije koje bi solarni sustav trebao isporučiti da bi se zadovoljile energetske potrebe razmatrane niskoenergetske kuće u Zagrebu. Ovi podaci su potrebni provedbu proračuna po mjesečnoj metodi i programom MGIPU. Iz dijagrama 2 se vidi da je insolacija najmanja u zimskim mjesecima kada se javljaju najveće potrebe pa je za očekivati da solarni sustav neće moći potpuno pokriti potrebe za toplinskom energijom.

Mj.	Isol;m	θ_e ;m	QW;sol;us;m	QH;sol;us;m	QH+W;sol;us
1	63,8	-0,6	251,56	1221,51	1473,07
2	99,6	2,2	227,22	758,67	985,89
3	152,0	6,5	251,56	283,48	535,04
4	180,6	11,2	243,45	4,65	248,10
5	206,0	15,9	251,56	0,00	250,63
6	215,7	19,2	242,55	0,00	242,55
7	222,2	21,1	251,56	0,00	250,63
8	208,7	20,1	251,56	0,00	250,63
9	192,1	16,4	242,55	0,00	242,55
10	139,7	11,1	251,56	6,42	257,98
11	69,9	5,6	243,45	327,25	570,70
12	47,0	0,9	251,56	972,66	1224,22
Ukupno [kWh]:			2957,35	3574,64	6531,99

Tablica 2 Osnovni ulazni mjesečni podaci za Zagreb

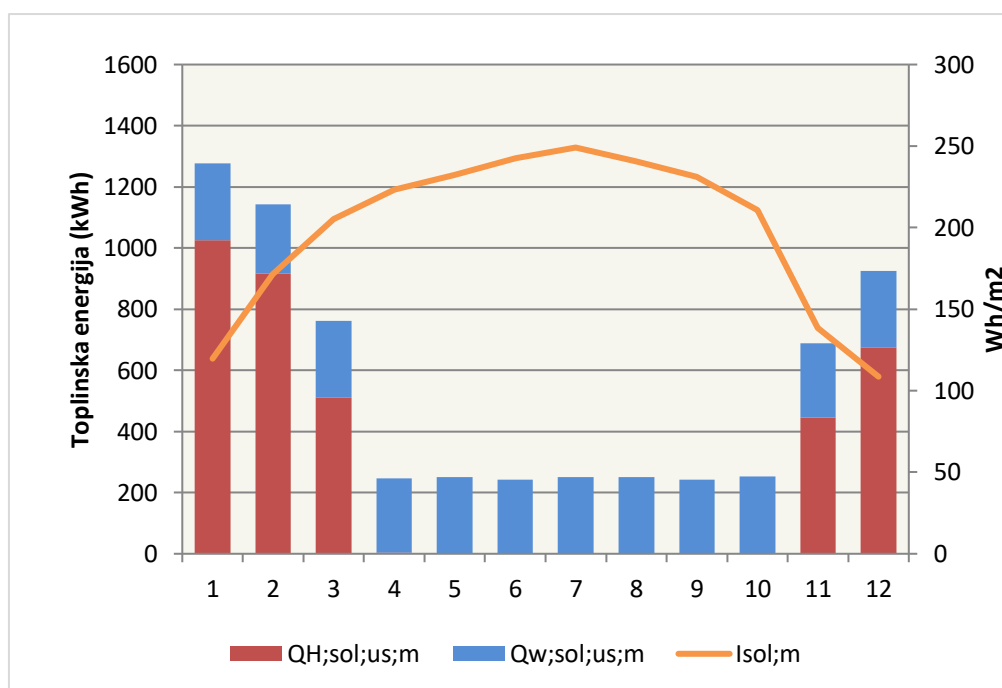


Dijagram 2 Mjesečna raspodjela insolacije i toplinskih potreba, Zagreb

U tablici 3 su također prikazane navedene vrijednosti, samo za područje Splita gdje je, zbog njegove lokacije, veće Sunčevo zračenje i vanjske temperature kroz cijelu godinu. Uz to se može uočiti i da je raspored mjesečnog toplinskog opterećenja sustava grijanja nešto drugačiji od onog u slučaju Zagreba.

Mj.	Isol;m	θ_e ;m	QW;sol;us;m	QH;sol;us;m	QH+W;sol;us
1	119,5	6,6	251,56	1024,69	1276,25
2	171,6	7,5	227,22	916,02	1143,23
3	205,4	9,9	251,56	510,27	761,83
4	223,1	13,4	243,45	3,16	246,60
5	232,3	18,0	251,56	0,00	250,63
6	242,6	21,6	242,55	0,00	242,54
7	249,1	24,5	251,56	0,00	250,63
8	240,5	24,0	251,56	0,00	250,63
9	231,1	20,5	242,55	0,00	242,54
10	210,6	16,2	251,56	2,23	253,79
11	138,5	11,6	243,45	445,74	689,18
12	108,6	7,9	251,56	673,23	924,79
Ukupno:			2957,35	3575,34	6532,64

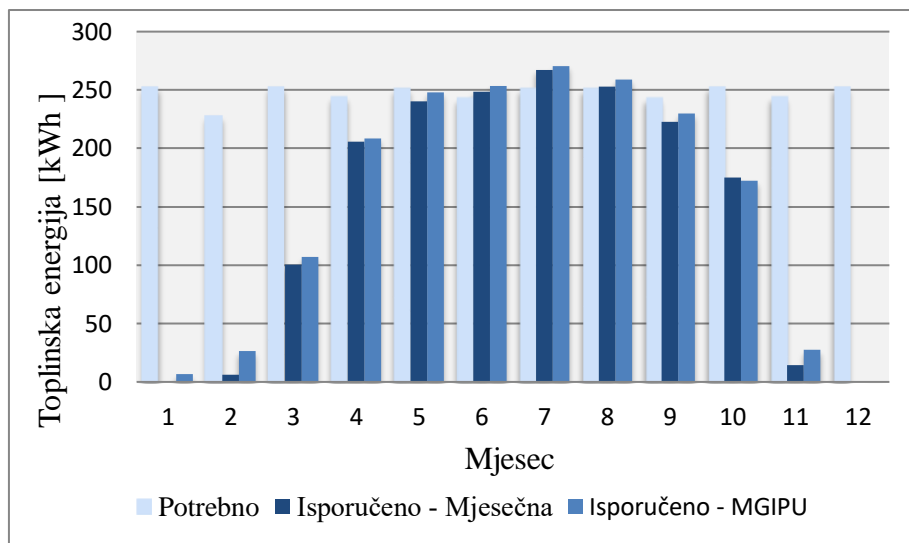
Dijagram 3 Osnovni ulazni mjesečni podaci za Split



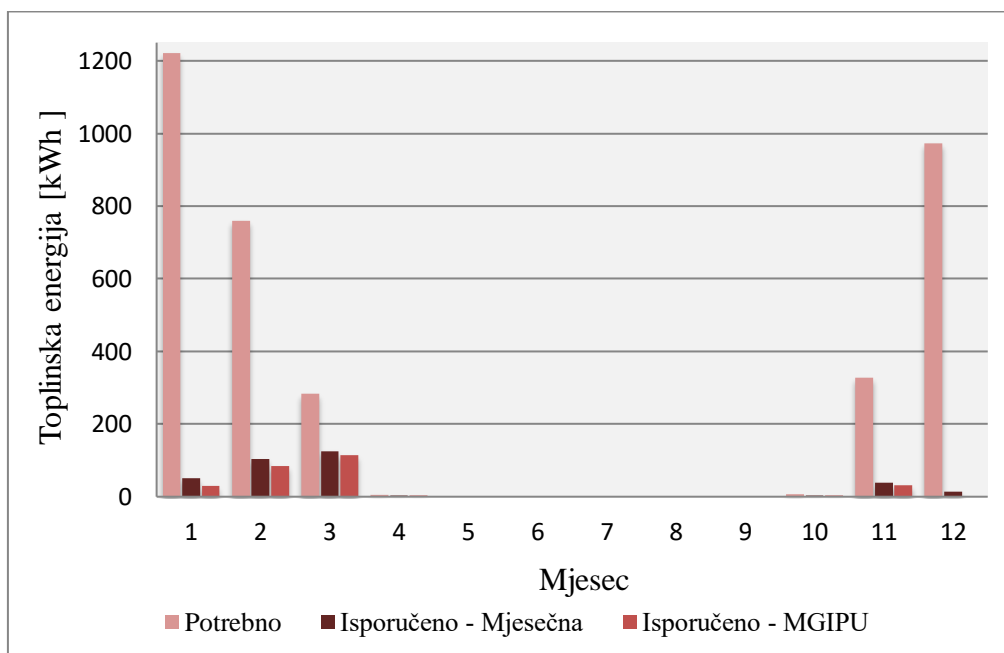
Dijagram 4 Mjesečna raspodjela insolacije i toplinskih potreba, Split

6. REZULTATI I ANALIZA

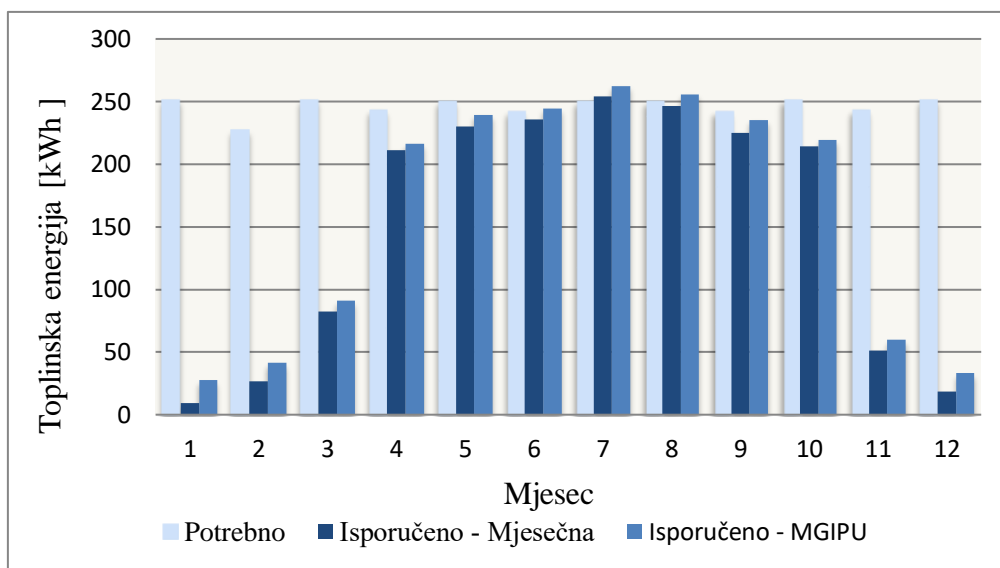
U nastavku su prikazani rezultati proračuna provedeni trima ranije spomenutim metodama i usporedbe izlaznih podataka. Raspored potrebne i isporučene energije za grijanje prostora i PTV dobivene mjesečnom metodom odnosno programom MGIPU je prikazan na dijagramima 5-8.



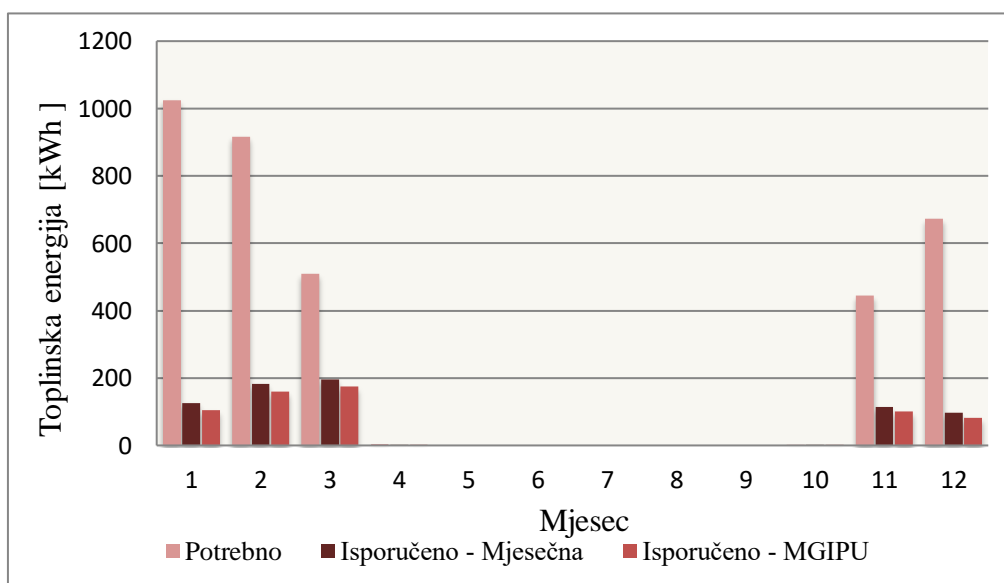
Dijagram 5 Prikaz mjesečne raspodjele potrebne i isporučene energije za PTV, Zagreb



Dijagram 6 Prikaz mjesečne raspodjele potrebne i isporučene energije za grijanje prostora, Zagreb



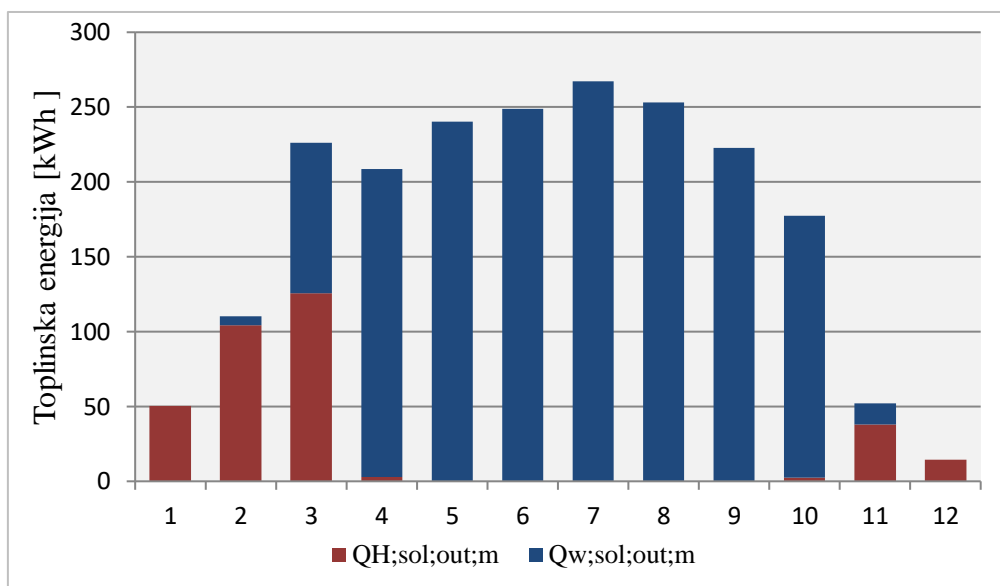
Dijagram 7 Prikaz mjesečne raspodjele potrebne i isporučene energije za PTV, Split



Dijagram 8 Prikaz mjesečne raspodjele potrebne i isporučene energije za grijanje prostora, Split

Vidljivo je da se i za područje Splita i Zagreba u ljetnim mjesecima solarnim sustavom prikupi dovoljno energije za pripremu PTV-a. Zahtjevi za energijom potrebnom za grijanje prostora su previsoki da bi ih solarni sustav isporučio. Tako je najmanji udio energetske potrebe za oba slučaja pokriveno u siječnju, mjesecu s najvećim potrebama topline i najmanjom insolacijom. Dobivena toplinska energija se isporučuje sustavu pripreme PTV-a i grijanja prema udjelu njihovih potreba u odnosu na ukupnu potrebu za toplinskom energijom.

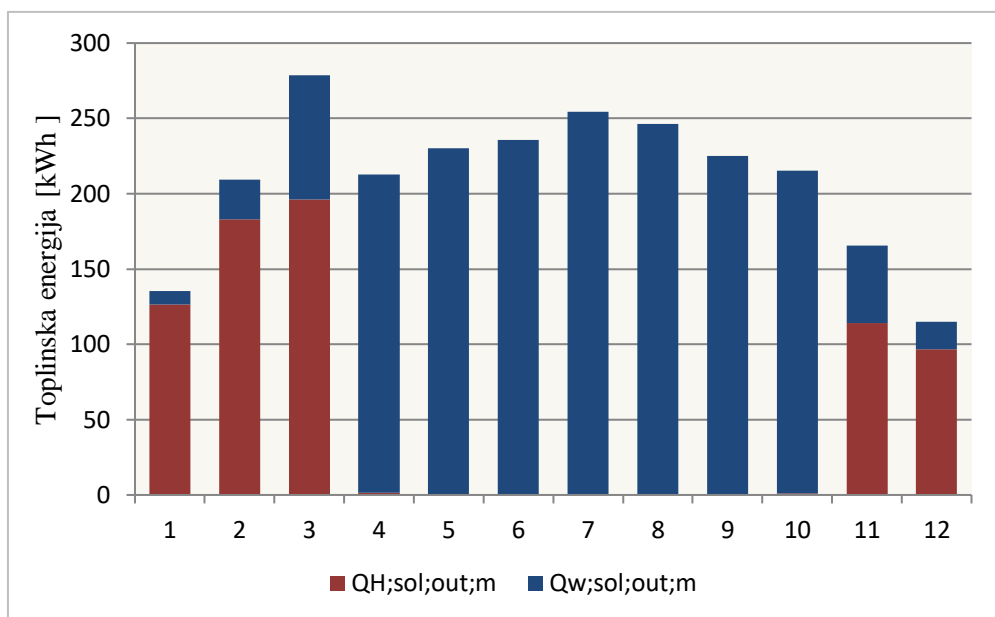
Zbog toga je u zimskim mjesecima primarno što veće pokrivanje potreba za grijanjem. Na dijagramu ispod se može vidjeti raspodjela isporučene energije za grijanje prostora odnosno PTV-a kod mjesečne metode. Raspodjela je slična i kod proračuna pomoću programa MGIPU (vidi tablica 3). Rezultati satne metode se ne mogu uspoređivati na ovaj način jer se promatra samo ukupno prikupljena energija solarnog sustava.



Dijagram 9 Prikaz isporučene energije za grijanje prostora i PTV, Zagreb

mj.	PTV ($Q_w;sol;out$)		Grijanje ($Q_H;sol;out$)	
	mjesečna	MGIPU	mjesečna	MGIPU
1	0,00	6,56	50,55	30,17
2	6,16	26,50	104,06	84,24
3	100,41	106,99	125,79	114,57
4	205,87	208,70	2,69	3,73
5	240,27	247,69	0,00	0,00
6	248,72	253,41	0,00	0,00
7	267,30	270,53	0,00	0,00
8	252,94	258,84	0,00	0,00
9	222,72	230,13	0,00	0,00
10	174,78	172,42	2,45	4,04
11	14,29	27,65	37,75	31,46
12	0,00	0,57	14,59	0,00
ukupno:	1733,47	1809,99	337,89	268,21

Tablica 3 Usporedba iznosa isporučene energije za PTV i grijanje kod mjesečne metode i iznosa dobivenih programom MGIPU, Zagreb



Dijagram 10 Prikaz isporučene energije za grijanje prostora i PTV, Split

mj.	PTV (Qw;sol;out)		Grijanje (QH;sol;out)	
	mjesečna	MGIPU	mjesečna	MGIPU
1	9,28	27,83	126,24	105,53
2	26,48	41,42	182,96	159,19
3	82,49	90,90	196,12	175,633
4	211,15	216,42	1,66	2,64
5	230,05	239,24	0,00	0
6	235,49	244,54	0,00	0
7	254,34	262,24	0,00	0
8	246,42	255,65	0,00	0
9	225,06	234,98	0,00	0
10	214,32	219,30	1,08	1,8
11	51,36	60,04	114,20	100,61
12	18,22	33,44	96,89	81,47
ukupno:	1804,65	1926,00	719,17	626,87

Tablica 4 Usporedba iznosa isporučene energije za PTV i grijanje kod mjesečne metode i iznosa dobivenih programom MGIPU, Split

6.1. Isporučena toplinska energija solarnim sustavom

Vrijednosti ukupne godišnje isporučene energije solarnim sustavom proračunima provedenim navedenim metodama se međusobno razlikuju. Uz to se razlikuje i raspodjela isporučene energije po mjesecima pri čemu su najveća odstupanja kod satne metode što se može vidjeti na dijagramima 11 i 12. Iznosi godišnje prikupljene energije solarnim sustavom se mogu vidjeti u tablicama 5 i 6 i to prvo kao ukupno dobivene vrijednosti, a nakon toga i vrijednost ako odbijemo višak prikupljene energije.

Ukupno godišnje isporučeno			
	MGIPU	Mjesečna metoda	Satna metoda
kWh/a	2078,2	2071,4	2247,9
%	31,82%	31,71%	34,41%
<i>Ako oduzmemo viškove koji se javljaju u ljeti:</i>			
kWh/a	2039,2	2046,2	2145,2
%	31,22%	31,33%	32,84%

Tablica 5 Usporedba ukupno isporučene energije svih metoda proračuna, Zagreb

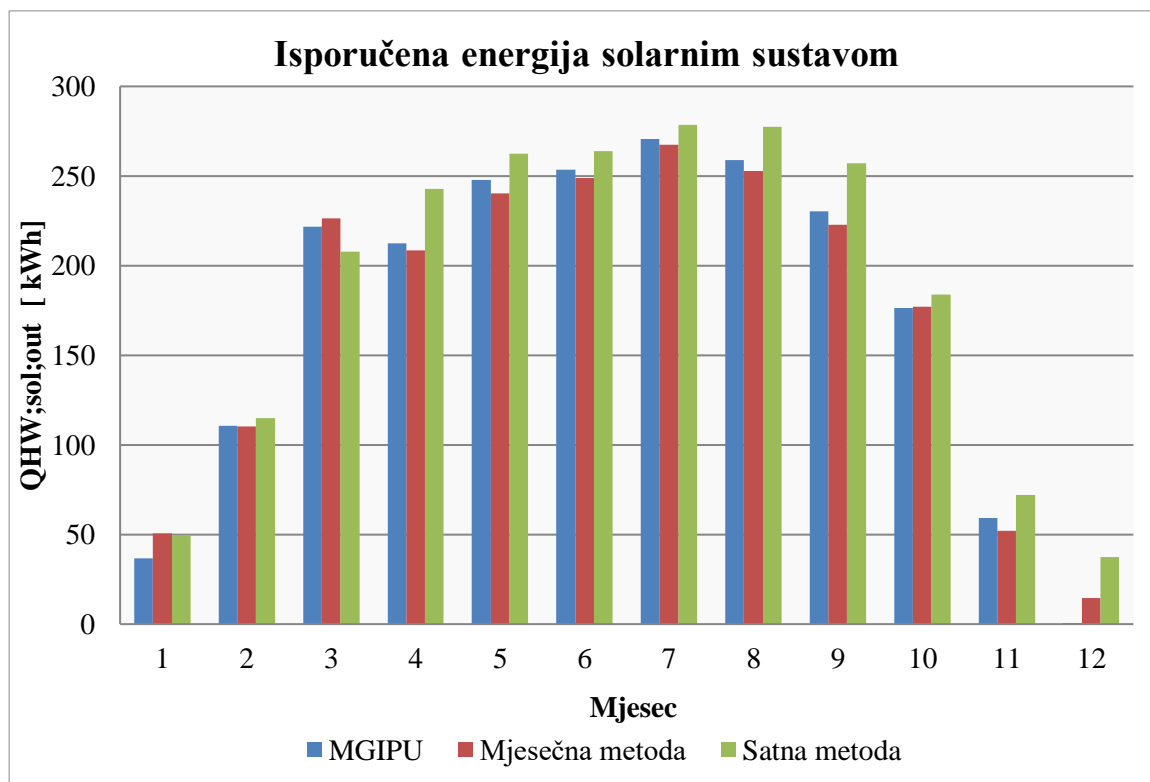
Dobivene vrijednosti prikupljene energije solarnim sustavom za područje Splita su prikazane u sljedećoj tablici. I u ovom slučaju satna metoda daje najveći iznos isporučene energije solarnog sustava..

Ukupno godišnje isporučeno			
	MGIPU	Mjesečna metoda	Satna metoda
kWh/a	2573,5	2523,8	2830,4
%	39,39%	38,63%	43,33%
<i>Ako oduzmemo viškove koji se javljaju u ljeti:</i>			
kWh/a	2541,8	2520,1	2689,0
%	38,91%	38,58%	41,16%

Tablica 6 Usporedba ukupno isporučene energije svih metoda proračuna

Mjesec	QHW;sol;out [kWh]				
	MGIPU	Mjesečna	Odstupanje Mjesečna od MGIPU	Satna	Odstupanje Satna od MGIPU
1	36,7	50,5	27,3%	49,5	25,8%
2	110,7	110,2	-0,5%	114,8	3,5%
3	221,6	226,2	2,0%	207,8	-6,6%
4	212,4	208,6	-1,9%	242,8	12,5%
5	247,7	240,3	-3,1%	262,5	5,6%
6	253,4	248,7	-1,9%	263,9	4,0%
7	270,5	267,3	-1,2%	278,6	2,9%
8	258,8	252,9	-2,3%	277,6	6,8%
9	230,1	222,7	-3,3%	257,1	10,5%
10	176,5	177,2	0,4%	183,8	4,0%
11	59,1	52,0	-13,6%	72,0	17,9%
12	0,6	14,6	96,1%	37,6	98,5%
Ukupno:	2078,2	2071,4	-0,3%	2247,9	7,5%

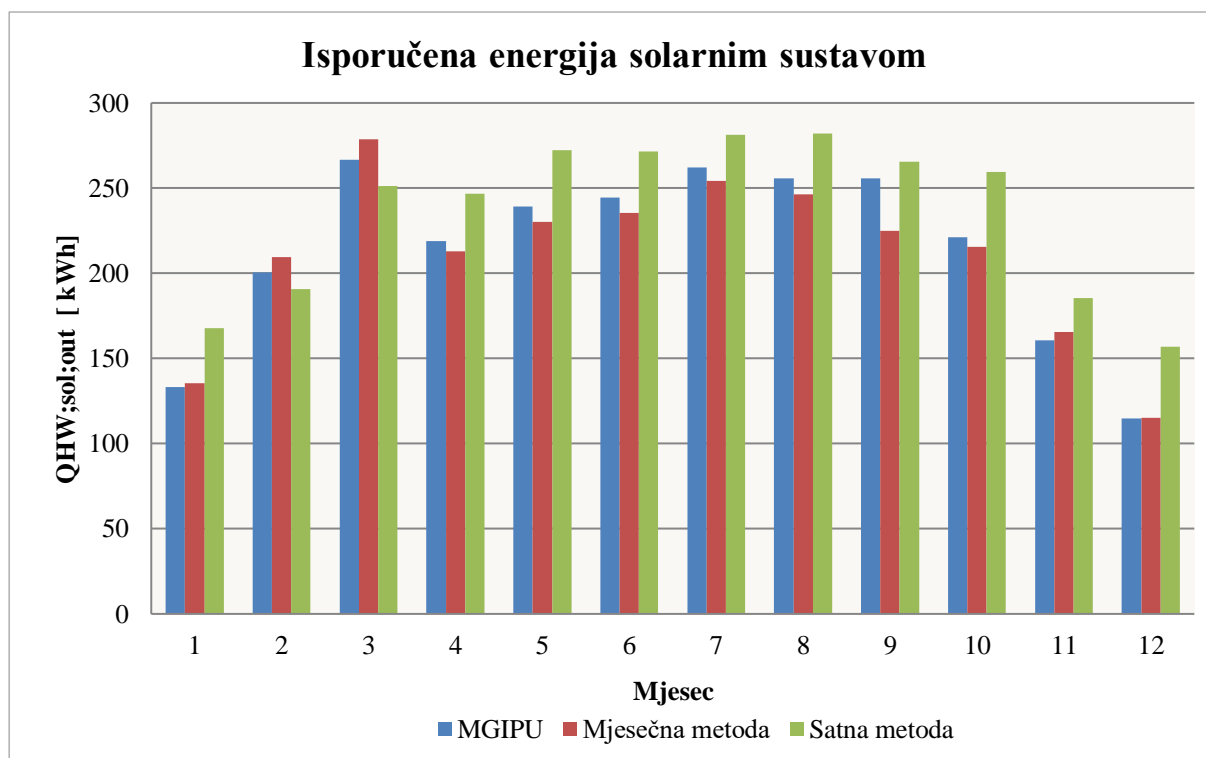
Tablica 7 Isporučena energija solarnog sustava, Zagreb



Dijagram 11 Prikaz mjesečne raspodjele ukupno isporučene energije svih triju metoda, Zagreb

Mjesec	Q _{HW;sol;out} [kWh]				
	MGIPU	Mjesečna	Odstupanje Mjesečna od MGIPU	Satna	Odstupanje Satna od MGIPU
1	133,4	135,5	1,6%	167,8	20,5%
2	200,6	209,4	4,2%	190,6	-5,2%
3	266,5	278,6	4,3%	251,2	-6,1%
4	219,1	212,8	-2,9%	246,7	11,2%
5	239,2	230,0	-4,0%	272,3	12,1%
6	244,5	235,5	-3,8%	271,3	9,9%
7	262,2	254,3	-3,1%	281,4	6,8%
8	255,7	246,4	-3,7%	281,9	9,3%
9	255,7	225,1	-13,6%	265,6	3,8%
10	221,1	214,3	-3,2%	259,5	14,8%
11	160,7	165,6	3,0%	185,3	13,3%
12	114,9	115,1	0,2%	156,8	26,7%
Ukupno:	2573,5	2522,7	-2,0%	2830,4	9,1%

Tablica 8 Isporučena energija solarnog sustava, Split



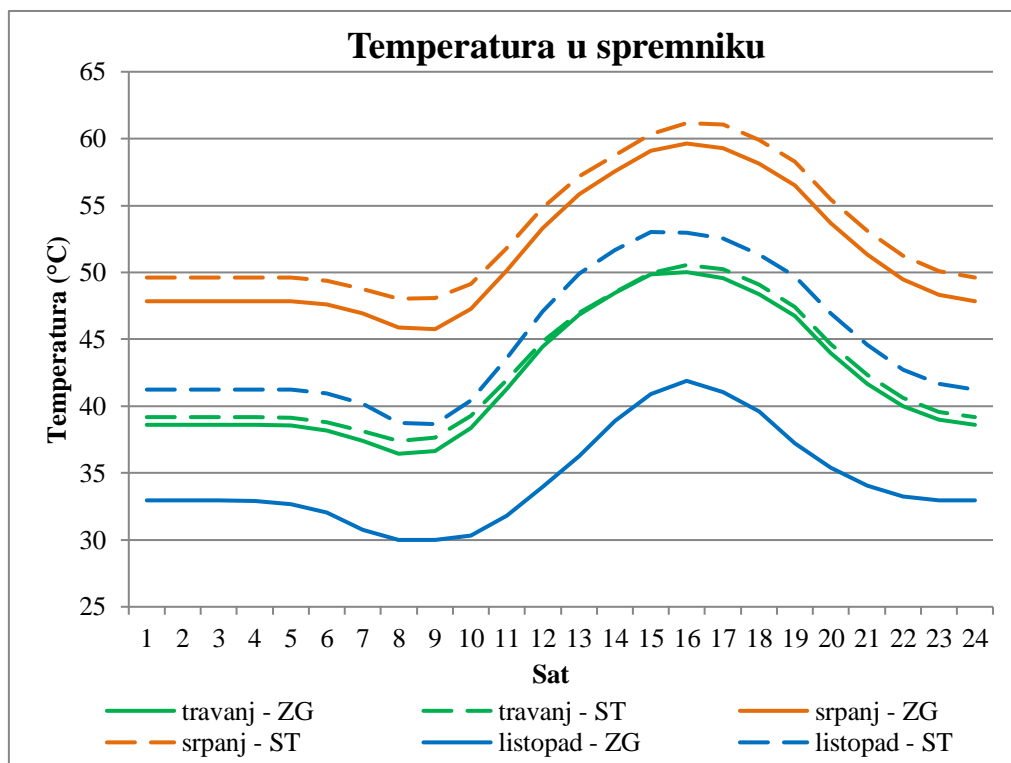
Dijagram 12 Prikaz mjesečne raspodjele ukupno isporučene energije svih triju metoda, Split

Može se uočiti i da se za područje Splita prikupi najviše energije u ožujku, a ne srpnju. To se događa zbog toga što osim o insolaciji, vrijednost isporučene energije ovisi i o zahtjevima za toplinskom energijom. U ožujku su za područje Splita potrebe za energijom još relativno visoke, a javljaju se i veće vrijednosti insolacije te to rezultira većom prikupljenom energijom.

6.2. Temperatura vode u spremniku

Iz satne metode se može dobiti uvid u kretanje temperature u spremniku tijekom karakterističnog dana svakog mjeseca. Kao što je prikazano na dijagramu 13., temperature vode u spremniku su najveće u najtoplijem mjesecu s najmanjim energetske potrebama, srpnju. Jasno je i da su temperature spremnika u Splitu zbog povoljnijih klimatskih uvjeta veće od onih u Zagrebu. Najveća razlika temperatura u spremniku između Zagreba i Splita se javlja u mjesecu listopadu upravo zbog najvećih međusobnih razlika u vrijednostima dozračene Sunčeve energije na apsorber kolektora i vanjskih temperatura. Oblik ovakve krivulje kretanja temperature je posljedica satne raspodjele potreba za toplinskom energijom kroz dan. Najveći temperaturni pad se javlja pri povećanim zahtjevima za PTV (ujutro i navečer). Nakon podneva temperature postižu maksimum zbog najveće insolacije.

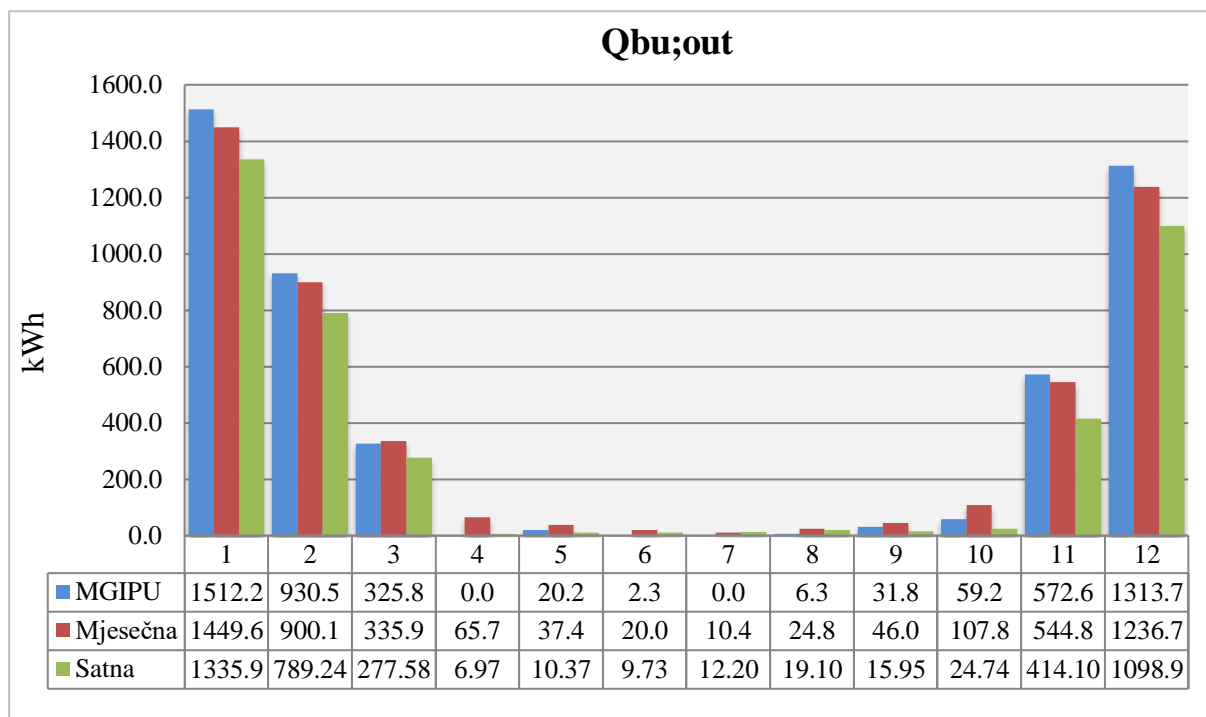
Kako učinak kolektora ovisi o temperaturi medija, iznosi prikupljene toplinske energije koje daje satna metoda podosta ovise o dnevnoj raspodjeli potreba za toplinskom energijom. Postavljena minimalna temperatura u spremniku iznosi 30°C. Da je minimalna temperatura postavljena na veću vrijednost, smanjio bi se iznos prikupljene topline za taj mjesec pošto ona kao što je rečeno ovisi o temperaturi medija.



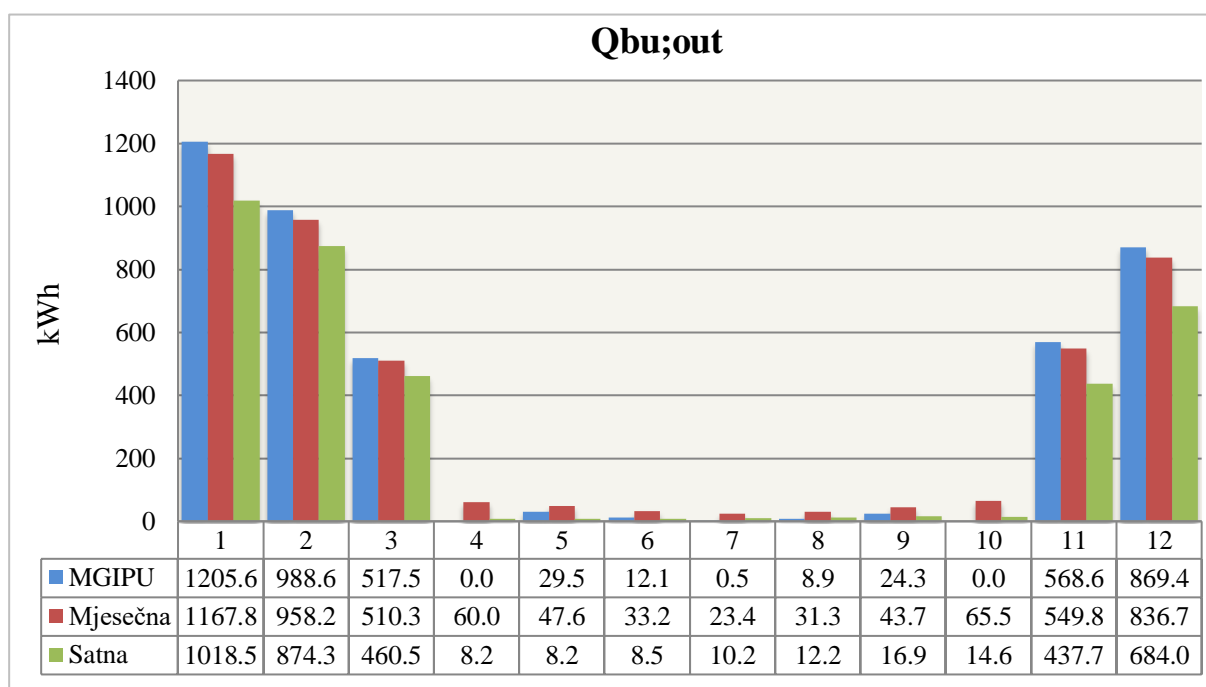
Dijagram 13 Temperatura vode u spremniku

6.3. Energija koju mora dodatni grijač isporučiti u sustav (Q_{bu})

Dodatni grijač mora isporučiti preostalu energiju za zadovoljenje potreba te još energiju za pokrivanje toplinskih gubitaka dijela spremnika grijanog tim grijačem.



Dijagram 14 Energija koju mora dodatni grijač isporučiti u sustav, Zagreb



Dijagram 15 Energija koju mora dodatni grijač isporučiti u sustav, Split

6.4. Proračun isporučene i primarne energije

Energija koju je uz solarni sustav potrebno dodatno isporučiti:

$$E_{del} = Q_{bu,in} + W_{aux} \quad [\text{kWh}] \quad (56)$$

Primarna energija:

$$E_{prim} = Q_{bu,in} \cdot f_{p,pl} + Q_{sol,out} \cdot f_{p,sol} + W_{aux} \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (57)$$

-pri čemu su faktori za određeni izvor energije prikazani u sljedećoj tablici

Faktor primarne energije za prirodni plin	$f_{p,pl} = 1,095$
Faktor primarne energije za električnu energiju	$f_{p,el} = 1,614$
Faktor primarne energije za solarni sustav	$f_{p,sol} = 0$

Tablica 9 Vrijednosti faktora primarne energije

$Q_{bu,in}$ označava energiju koju je potrebno isporučiti dodatnom generatoru topline te se izračunava prema:

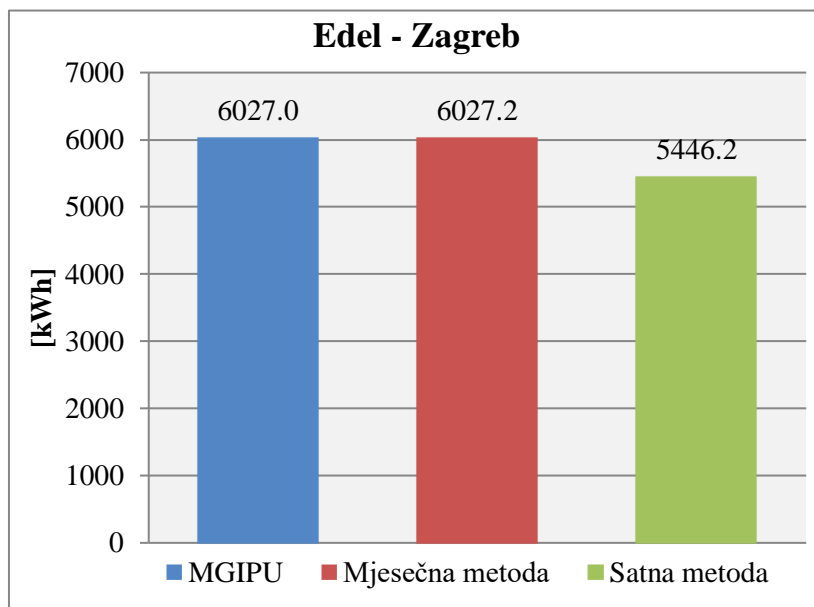
$$Q_{bu,in} = Q_{bu,out} + Q_{bu,ls} - W_{bu,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (58)$$

Dobiveni iznosi:

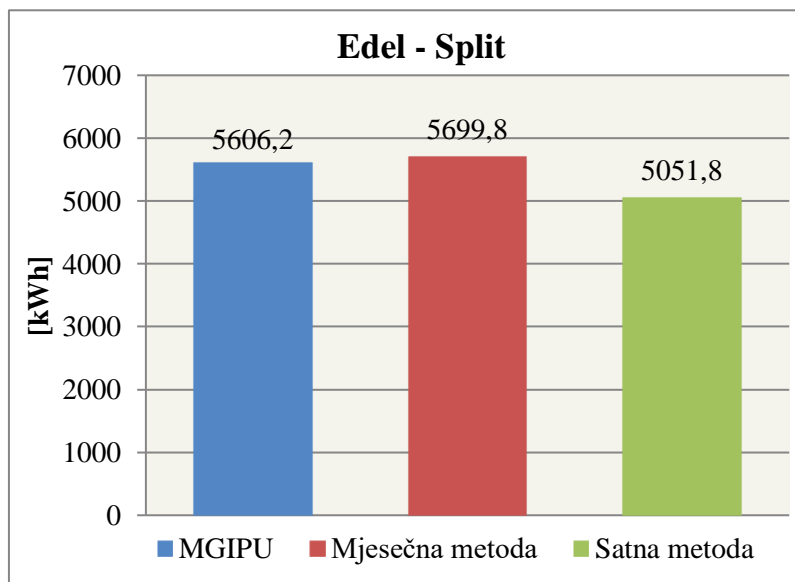
	MGIPU	Mjesečna metoda	Satna metoda
ZAGREB			
E_{del}	6027,0	6027,2	5446,2
E_{prim}	6640,5	6633,2	6091,4
SPLIT			
E_{del}	5606,2	5699,8	5051,8
E_{prim}	6176,4	6274,4	5630,3

Tablica 10 Isporučena i primarna energija [kWh]

Za područje Zagreba je solarni sustav isporučio manje energije pa je potrebno više energije dovesti dodatnim generatorom topline.



Dijagram 16 Energija koju je još potrebno isporučiti u termotehnički sustav, Zagreb



Dijagram 17 Energija koju je još potrebno isporučiti u termotehnički sustav, Split

7. Period povrata investicije

Kod optimizacije sustava se, pored dimenzioniranja komponenti kako bi solarni sustav isporučio što veću toplinsku energiju, treba uzeti u obzir period povrata investicije. Tako se nastoji odabrati što isplativije rješenje sustava, tj. s najmanjim periodom povrata investicije. Jednostavni period povrata investicije se računa prema sljedećoj formuli:

$$P = \frac{C_{\text{invest}}}{S} \quad (59)$$

$$C_{\text{invest}} = C_{\text{fix}} + C_{\text{kol}} \cdot A_{\text{kol}} + C_s \cdot V_s \quad (60)$$

$$S = \frac{Q_{\text{sol,out;a}}}{\eta_{\text{kotao}} \cdot H_d} \cdot C_{\text{g,pl}} \quad (61)$$

Gdje je cijena investicije C_{invest} izražena kao zbroj fiksnih troškova te promjenjivih ovisno o površini kolektora i volumenu spremnika. S iz formule označava uštedu na troškovima za gorivo koje se ostvaruju kroz korištenje sunčanog sustava tijekom godine. Predstavlja cijenu za određeni energent koji bi se morao utrošiti da se dobije količina energije prikupljena solarnim sustavom u godini dana. Tako da za izračun S , a s time i perioda povrata investicije, treba poznavati isporučenu energiju solarnog sustava. Stoga je potrebno provesti više proračuna za različite dimenzije kolektora i spremnika kako bi se mogla napraviti usporedba perioda povrata investicije.

C_{fix}	12000	kn
C_{kol}	1000	kn/m ²
C_s	20	kn/l
$C_{\text{g,el}}$	0,975	kn/kWh
$C_{\text{g,pl}}$	3,6	kn/m ³
H_d	9,26	kWh/m ³
η_{kotao}	0,95	-

Tablica 11 Ulazni podaci za jednostavni proračun perioda povrata investicije

Periodi povrata investicije za razmatrane sustave su prikazani u donjoj tablici. Najmanji period investicije se javlja kod najveće površine kolektora (najveće isporučene energije) i najmanjeg volumena spremnika (porastom spremnika inače raste prikupljena energija, ali ne dovoljno da bi se cijenovno opravdao veći spremnik). Kod odabira sustava se nije mogla izabrati maksimalna površina s najmanjim spremnikom jer time nisu zadovoljeni ostali uvjeti koji moraju biti za povoljno optimizirani sustav. Ukoliko se uzme prevelika površina kolektora ili volumen spremnika, javit će se veliki višak topline i pregrijavanje sustava u ljetnim mjesecima. Pazilo se da uz minimalni period povrata investicije budu zadovoljene potrebe za PTV-om ljeti uz što manje viškove topline. Pomoću MS Excela su se dobili scenariji za različite kombinacije spremnika i kolektora. Uzeti su izlazni podaci ukupne godišnje isporučene energije mjesečnom metodom i to umanjeni za toplinske viškove.

U tablicama 12 i 14 su prikazani dobiveni rezultati. U tablicama 13 i 15 su uz isporučene energije prikazane i vrijednosti udjela te energije u ukupnoj godišnjoj potrebi te koliko je godišnje prikupljeno kWh po m² kolektora.

Period povrata investicije					
el.energ.	V _s				
	250	300	350	400	450
Ak	4,0	12,47	13,00	13,55	14,12
	4,5	11,92	12,40	12,91	13,43
	5,0	11,62	12,08	12,56	13,05
	5,5	11,46	11,90	12,36	12,83
	6,0	11,38	11,81	12,25	12,71
	6,5	11,36	11,77	12,19	12,63
	7,0	11,36	11,74	12,14	12,56
plin					
Ak	4,0	29,70	30,96	32,28	33,64
	4,5	28,39	29,54	30,75	32,00
	5,0	27,70	28,79	29,93	31,10
	5,5	27,31	28,35	29,44	30,56
	6,0	27,12	28,13	29,19	30,27
	6,5	27,07	28,04	29,04	30,08
	7,0	27,06	27,97	28,93	29,93

Tablica 12 Iznosi perioda povrata investicije za različite veličine spremnika i kolektora, Zagreb

V _s =	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450	l
Ak = 4						Ak = 6					m ²
Q _{kol}	1830,4	1854,6	1873,4	1888,4	1900,7	2185,0	2215,2	2239,7	2260,0	2277,3	kWh
U _{dio}	28,02%	28,39%	28,68%	28,91%	29,10%	33,45%	33,91%	34,29%	34,60%	34,86%	
kWh/Ak	457,6	463,6	468,3	472,1	475,2	364,2	369,2	373,3	376,7	379,5	kWh/m ²
Ak = 4,5						Ak = 6,5					m ²
Q _{kol}	1958,1	1985,1	2006,4	2023,6	2038,2	2234,0	2266,0	2292,8	2315,2	2334,4	kWh
U _{dio}	29,98%	30,39%	30,72%	30,98%	31,20%	34,20%	34,69%	35,10%	35,44%	35,74%	
kWh/Ak	435,1	441,1	445,9	449,7	452,9	343,7	348,6	352,7	356,2	359,1	kWh/m ²
Ak = 5						Ak = 7					m ²
Q _{kol}	2051,3	2079,7	2102,5	2121,6	2137,7	2280,4	2315,3	2343,7	2367,5	2387,9	kWh
U _{dio}	31,40%	31,84%	32,19%	32,48%	32,73%	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	
kWh/Ak	410,3	415,9	420,5	424,3	427,5	325,8	330,8	334,8	338,2	341,1	kWh/m ²
Ak = 5,5											m ²
Q _{kol}	2125,0	2154,9	2179,0	2198,9	2215,8						kWh
U _{dio}	32,53%	32,99%	33,36%	33,66%	33,92%						
kWh/Ak	386,4	391,8	396,2	399,8	402,9						kWh/m ²

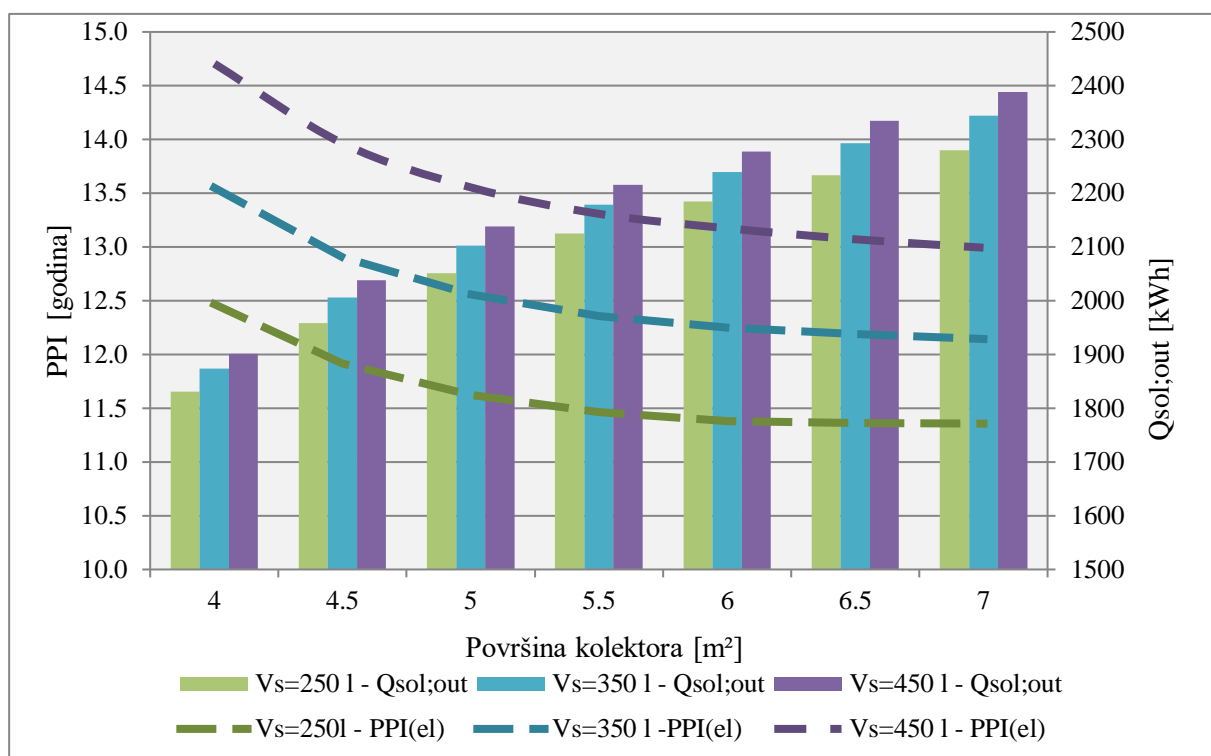
Tablica 13 Iznosi dobivene energije za različite veličine spremnika i kolektora, Zagreb

Period povrata investicije						
el.energ.		Vs				
		250	300	350	400	450
Ak	2,5	10,32	10,76	11,21	11,67	12,14
	3,0	9,29	9,68	10,08	10,49	10,90
	3,5	8,57	8,91	9,27	9,64	10,01
	4,0	8,12	8,43	8,75	9,08	9,42
	4,5	7,87	8,16	8,47	8,77	9,09
	5,0	7,68	7,96	8,25	8,54	8,84
	5,5	7,58	7,84	8,12	8,40	8,68
	6,0	7,49	7,74	8,01	8,27	8,55
plin						
Ak	2,5	24,60	25,64	26,71	27,81	28,92
	3,0	22,14	23,06	24,01	24,98	25,97
	3,5	20,41	21,23	22,08	22,96	23,84
	4,0	19,34	20,09	20,86	21,64	22,44
	4,5	18,76	19,45	20,17	20,90	21,65
	5,0	18,31	18,97	19,65	20,34	21,05
	5,5	18,05	18,68	19,34	20,00	20,68
	6,0	17,85	18,45	19,07	19,71	20,36

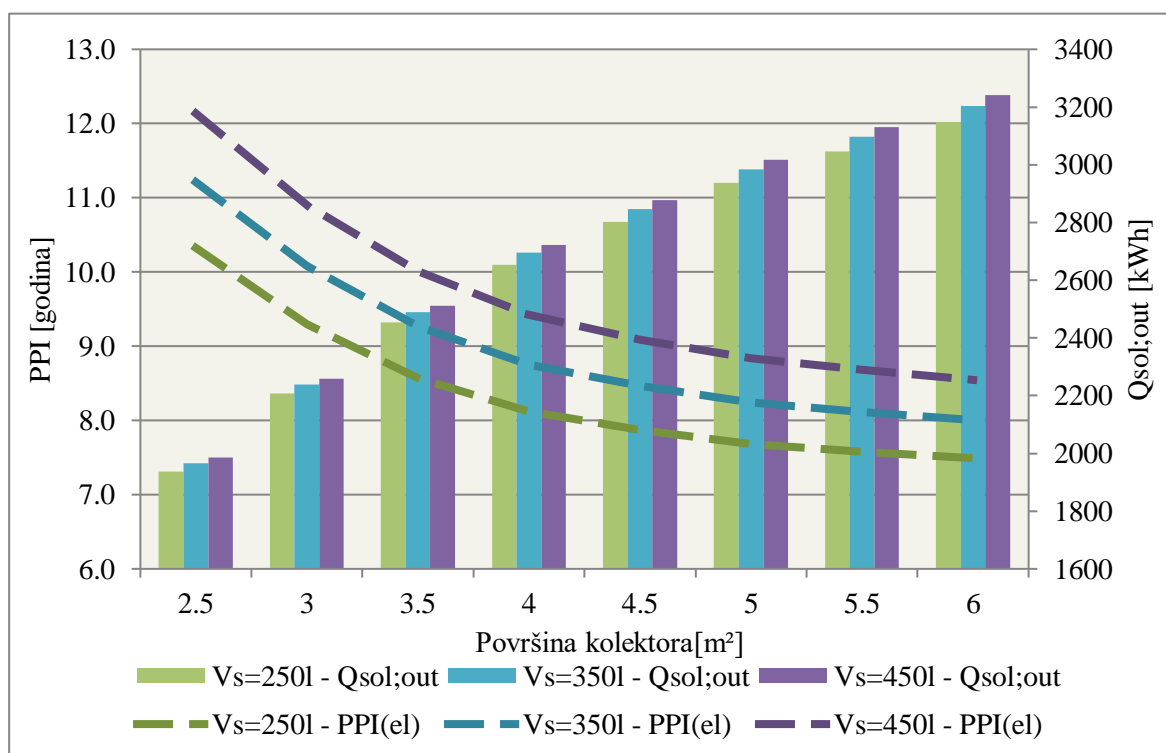
Tablica 14 Iznosi perioda povrata investicije za različite veličine spremnika i kolektora, Split

Vs=	250	300	350	400	450	250	300	350	400	450	l
Ak = 2,5						Ak = 4,5					m ²
Qkol	1937,1	1953,9	1966,9	1977,4	1986,0	2801,2	2826,4	2846,9	2864,0	2878,4	kWh
Udio	29,65%	29,91%	30,11%	30,27%	30,40%	42,88%	43,27%	43,58%	43,84%	44,06%	
kWh/Ak	774,8	781,6	786,8	791,0	794,4	622,5	628,1	632,7	636,4	639,6	kWh/m ²
Ak = 3,0						Ak = 5,0					m ²
Qkol	2207,8	2225,4	2238,9	2249,6	2258,2	2936,6	2963,4	2985,1	3003,2	3018,2	kWh
Udio	33,80%	34,07%	34,27%	34,44%	34,57%	44,95%	45,36%	45,69%	45,97%	46,20%	
kWh/Ak	735,9	741,8	746,3	749,9	752,7	587,3	592,7	597,0	600,6	603,6	kWh/m ²
Ak = 3,5						Ak = 5,5					m ²
Qkol	2454,6	2474,5	2489,6	2501,4	2510,9	3046,3	3073,9	3096,3	3115,1	3131,2	kWh
Udio	37,57%	37,88%	38,11%	38,29%	38,44%	46,63%	47,05%	47,40%	47,68%	47,93%	
kWh/Ak	701,3	707,0	711,3	714,7	717,4	553,9	558,9	563,0	566,4	569,3	kWh/m ²
Ak = 4,0						Ak = 6,0					m ²
Qkol	2653,1	2676,4	2694,7	2709,5	2721,9	3149,2	3178,7	3202,8	3223,0	3240,3	kWh
Udio	40,61%	40,97%	41,25%	41,48%	41,67%	48,21%	48,66%	49,03%	49,34%	49,60%	
kWh/Ak	663,3	669,1	673,7	677,4	680,5	524,9	529,8	533,8	537,2	540,0	kWh/m ²

Tablica 15 Iznosi dobivene energije za različite veličine spremnika i kolektora, Split



Dijagram 18 Promjena perioda povrata investicije i iznosa isporučene toplinske energije u ovisnosti o površini kolektora i volumenu spremnika, mjesečna metoda, Zagreb



Dijagram 19 Promjena perioda povrata investicije i iznosa isporučene toplinske energije u ovisnosti o površini kolektora i volumenu spremnika, mjesečna metoda, Split

Odabran volumen spremnika iznosi 300 l. Za područje Zagreba su odabrana 3 kolektora pojedinačne površine apsorbera 1,6 m² (model *Solimpleks APN 1808*). Za tu konkretnu površinu kolektora i cijenu će period povrata investicije iznositi 12,29 godina ukoliko je drugi energent električna energija odnosno 29,28 ako se zamijenjuje prirodni plin.

Za Split je odabran jednak spremnik i dva kolektora pojedinačne površine apsorbera 1,8 m² (*Centrometal CPK 7210N Alu*). Za taj konkretni sustav period povrata investicije ukoliko je drugi energent električna energija iznosi 9,04 godine odnosno 21,53 za prirodni plin.

8. ZAKLJUČAK

U ovome radu je proveden proračun solarnog toplovodnog sustava za pripremu PTV-a i niskotemperaturnog grijanje prostora niskoenergetske kuće na području Zagreba odnosno Splita. Proračun se proveo na tri načina. Pomoću računalnog programa MGIPU Energetski Certifikator su se dobile vrijednosti toplinskog opterećenja kuće na temelju unesenih dimenzija i karakteristika same kuće te se zatim proveo proračun termotehničkog sustava grijanja. Dobiveni rezultati su se usporedili s onima dobivenim mjesečnom i satnom metodom iz skupine normi PrEN15316-5-4:2017. Sustav je trebao biti dimenzioniran tako da pokriva minimalno 30% godišnjih energetske potrebe i da mu period povrata investicije bude najmanji.

Odabrano rješenje za Zagreb je sustav s 3 kolektora pojedinačne površine apsorbera 1,6 m², tj. ukupne površine 4,8 m², i akumulacijskim spremnikom volumena 300 l od čega jednu trećinu (100 l) zagrijava pomoćni grijač koji je stalno uključen. Rezultati dobivenih vrijednosti isporučene energije solarnim sustavom su slični kod korištenja mjesečne metode i programa MGIPU Energetski certifikator. Razlikuju se na godišnjoj razini za manje od 1%. Mjesečna raspodjela dobivene energije se malo razlikuje pri čemu je mjesečna dala veće vrijednosti u zimskim mjesecima, a MGIPU ostalim. Satna metoda ima najveća odstupanja vrijednosti u odnosu na preostale dvije. Na godišnjoj razini daje oko 8% više energije. Period povrata investicije ovog sustava bi iznosio 12,29 godina ukoliko je energent električna energija odnosno 28, godina ukoliko se radi o prirodnom plinu.

Za Split je proveden jednak postupak proračuna. Razlika je što su tamo povoljniji klimatski uvjeti za iskorištavanje Sunčeva zračenja pa su odabrane drugačije dimenzije sustava i dobivene su veće izlazne vrijednosti. Odabran je sustav s 2 kolektora pojedinačne površine apsorbera 1,8 m², tj. ukupne površine 3,6 m², i također spremnik od 300 l s jednom trećinom (100 l) dijela zagrijavanog pomoćnim grijačem. Iznosi solarnim sustavom prikupljene energije prema mjesečnoj metodi i programu MGIPU Energetski certifikator se na godišnjoj razini razlikuju 2% dok su kod satne veći za otprilike 9%. U ovom slučaju bi period povrata investicije iznosio 9,4 godine ukoliko sustav zamjenjuje električnu energiju kao energent odnosno 21,5 godina ukoliko se radi o prirodnom plinu.

Gledajući godišnju raspodjelu prikupljene energije, najviše u oba slučaja odstupa satna metoda s većim iznosima prikupljene energije. Rezultati metoda proračuna s različitim vremenskim korakom ne mogu biti jednaki pošto se uz različite jednadžbe uzimaju u obzir i neke različite ulazne veličine. Kod satne metode se mijenjaju temperature u spremniku i o tome ovisi isporučena energija, a ovisi i o satnoj raspodjeli potrebne topline i protoku medija kroz kolektor. To su podaci koji se ne unose u mjesečnu metodu i MGIPU. Također se u satnu metodu ne unosi veličina volumena spremnika koji se grije dodatnim grijačem. Uočeno je da na iznos prikupljene energije satnom metodom jako utječe temperatura spremnika odnosno temperatura na ulazu u kolektor. Što je veća temperatura to će efikasnost spremnika biti manja pa će tako biti prikupljeno manje toplinske energije. Proračun satnom metodom je proveden uz pojednostavljen model proračuna spremnika. S tim pojednostavljenjem se ne uzima u obzir stratifikacija spremnika. Pošto je u realnom slučaju ona prisutna, rezultati dobiveni ovim proračunom nisu velike preciznosti. Trebao bi se provesti detaljniji proračun spremnika koji uzima u obzir temperaturnu stratifikaciju kako bi model simulacije bio što sličniji realnom sustavu.

LITERATURA

- [1] Balen I., Cetinić I.: Primjene solarnih toplinskih sustava za grijanje i pripremu PTV, 2015.
- [2] Dović, D.: Obnovljivi izvori energije, Zagreb, 2012.
- [3] Hartman., Klepo, Lokas, Novak, Zanki: Tipske mjere za povećanje energetske efikasnosti u kućanstvima; Tipska mjera 1.1
- [4] Majdandžić, Lj.: Solarni sustavi, Graphis d.o.o., 2010.
- [5] Matić, M.: Gospodarenje energijom, Školska knjiga, Zagreb 1995.
- [6] FprEN 15316-4-3:2016 Generation & Control Thermal solar/photovoltaics: *Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar and photovoltaic systems, Module M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3*, CEN/TC 228, 2016.
- [7] Katalog Centrometal: *Solarni sustavi*
- [8] Katalog Viessman: *Solar thermal systems*
- [9] http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Solarna_energija
- [10] <https://www.renewableenergyhub.co.uk/solar-thermal-information/the-history-of-solar-thermal-technology.html>
- [11] http://www.eko-puls.hr/Solarne_instalacije.aspx

PRILOZI

I. CD-R disc